

## Pengaruh Slitter Plate Pada Alat Casting Terhadap Kualitas Propelan D550 Untuk Motor Roket Case Bonded

Oleh :  
Sutrisno \*  
Fathur Rohman \*\*

### Abstrak

*Motor roket berukuran besar umumnya dibuat secara case bonded dimana propelan akan terpasang secara permanen di dalam motor roket tersebut sehingga tidak diperbolehkan adanya cacat propelan terutama keropos (voids). Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan propelan agar bebas dari keropos sebagai upaya memperoleh metode pembuatan propelan D550 untuk motor roket case bonded. Proses propelan D550 free standing dievaluasi untuk mencari penyebab terjadinya keropos. Peralatan casting propelan D550 untuk motor roket case bonded dirancang dengan menambahkan slitter plate untuk menghilangkan udara yang terjebak sebagai penyebab terjadinya keropos. Propelan D550 yang dibuat dengan menggunakan slitter plate tersebut diuji kualitasnya untuk dibandingkan dengan propelan D550 free standing. Pengujian yang dilakukan adalah uji radiografi dan densitas propelan. Berdasarkan pengujian diperoleh bahwa propelan D550 yang dibuat menggunakan slitter plate tidak mengandung keropos tetapi mempunyai densitas dan tingkat keseragaman yang lebih rendah di sepanjang bagiannya dibandingkan dengan propelan D550 free standing.*

*Kata kunci: propelan, case bonded, free standing, keropos.*

### Abstract

*Large rocket motors are generally made in case bonded methode where the propellant to be bonded permanently so any defects such as crack and voids in proellant will not be allowed. This reseach aims to produce free void propellant in order to obtain propellant D550 manufacturing methode for case bonded rocket motor. The free standing propellant D550 manufacturing process was evaluated to find the cause of voids. D550 propellant casting equipment for case bonded rocket motor was designed by adding slitter plate to remove trapped air. The propellant D550 produced using slitter plate was tested and compared with the free standing one. Testing were performed i.e radiograpy inspection and propellant density measurement. Based on the test it was found that propellant D550 made using slitter plate contain no void but the density is lower and lower level of uniformity across parts compared to the D550 propellant free standing.*

*Keywords: propellant, case bonded, free standing, voids*

## 1. PENDAHULUAN

Roket merupakan teknologi yang sangat strategis dan dapat dimanfaatkan baik untuk kepentingan damai maupun alat pertahanan. Teknologi roket merupakan teknologi yang tertutup dimana negara maju yang telah lebih dahulu menguasai teknologi ini tidak mudah memberikan informasi kepada umum bahkan cenderung mempersulit suatu negara yang akan berusaha menguasai teknologi ini. Alih teknologi antar negara di bidang ini akan cukup mahal atau hanya bisa terjadi jika hubungan kedua negara sangat baik atau negara pemberi cukup mendapatkan keuntungan besar. Salah satu teknologi yang tertutup ini adalah proses pembuatan propelan untuk digunakan pada motor roket.

Proses pembuatan / pengisian propelan ke dalam motor roket umumnya dilakukan dengan dua metode yaitu *free standing* dan *case bonded*. Pada cara pertama propelan dicetak secara terpisah baru kemudian dimasukkan ke dalam tabung motor roket. Pada cara yang kedua propelan langsung dicetak ke dalam tabung motor roket sehingga terpasang secara permanen. Adapun cara yang dilakukan oleh LAPAN adalah perpaduan dari dua cara tersebut dimana propelan dicetak terpisah kemudian dimasukkan ke dalam tabung motor roket. Celah antara tabung dengan propelan diisi dengan material liner yang sekaligus berfungsi untuk mengikat propelan secara permanen. Beberapa contoh proses pengisian propelan ke dalam motor roket berdiameter 550 mm di LAPAN dengan panjang 6 meter diperlihatkan pada Gambar 1.1 sampai dengan Gambar 1.3.

\* Peneliti Pusat Teknologi Roket - LAPAN

\*\*Perekayasa Pusat Teknologi Roket - LAPAN



**Gambar 1.1** Proses pemotongan dan penyambungan propelan

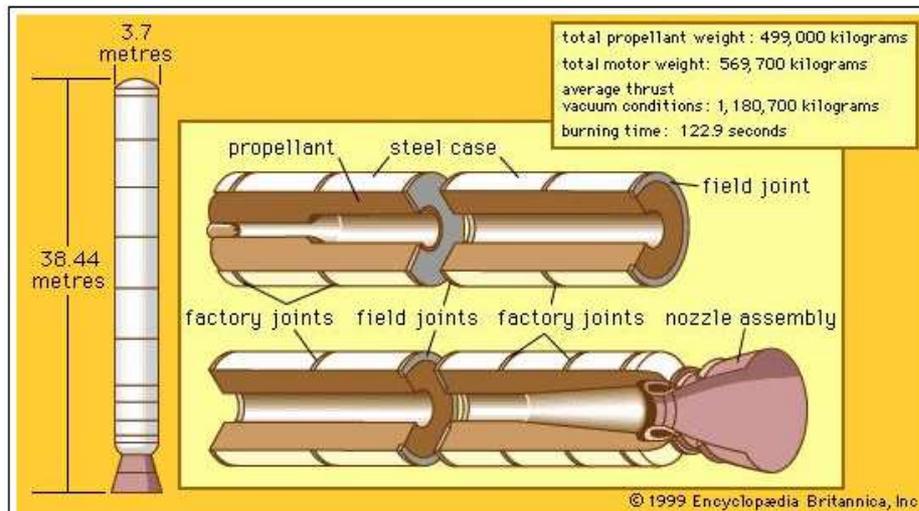


**Gambar 1.2.** Pelapisan propelan dengan protektor termal



**Gambar 1.3** Pemasukan propelan ke dalam tabung motor roket

Metode pembuatan motor roket yang dilakukan LAPAN di atas dapat menimbulkan masalah terutama untuk motor roket yang berukuran besar seperti bahaya kebakaran pada saat memotong propelan, resiko cacat sambungan propelan, kurang presisi dan waktu pengerjaan yang lama. Dalam hal ini metode *case bonded* pada proses pembuatan propelan dapat mengatasi masalah tersebut. Namun untuk mencetak propelan yang terlalu panjang akan mendapatkan kesulitan dalam mencabut mandrel. Selanjutnya untuk membuat motor roket yang berdiameter besar dan panjang secara *case bonded* maka motor roket harus dibuat *segmented*. Oleh karena itu upaya untuk menguasai pembuatan propelan berdiameter besar, yang dapat dimulai dari propelan yang akan digunakan pada motor roket berdiameter 550 mm (propelan D550), secara *case bonded* perlu dilakukan. Contoh gambar motor roket *segmented* seperti diperlihatkan pada Gambar 1.4 .

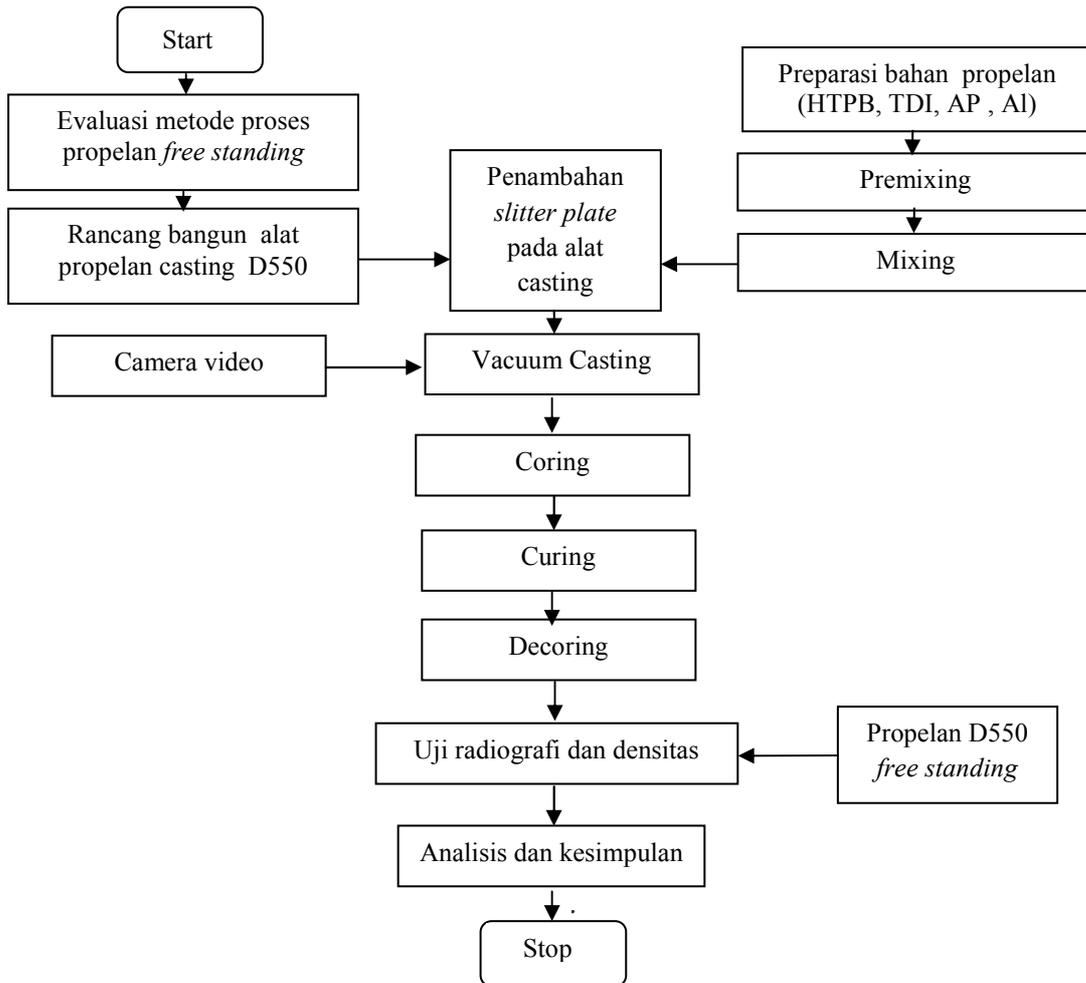


**Gambar 1.4** Motor Roket *Segmented* (www.britannica.com)

Selama ini propelan yang diproduksi oleh LAPAN secara *free standing* kadang menghasilkan produk yang keropos (*void*). Bagian propelan yang cacat ini dapat dihilangkan dengan pemotongan sebelum digunakan pada motor roket. Seperti telah dikemukakan di atas bahwa propelan *case bonded* pada motor roket akan terpasang secara permanen dan tidak dapat diganti atau diperbaiki jika terdapat cacat. Oleh karena itu salah satu persyaratan paling pokok pada propelan yang dihasilkan secara *case bonded* adalah tidak boleh ada cacat keropos. Pemilihan teknik *casting* propelan sangat dipengaruhi oleh sifat rheologi adonan (*slurry*) propelan dan ukuran motor roket. Teknik *casting* yang umum digunakan adalah *vacuum casting*, *bayonet casting* dan *pressure casting* (Dombe et al, 2008). Fokus pembahasan pada penelitian ini adalah upaya untuk menghasilkan propelan *case bonded* yang tidak keropos dari sisi teknik *casting*. Biasanya terjadinya keropos propelan diakibatkan oleh adanya udara yang terjebak di dalam *slurry* propelan. Untuk menghilangkan udara yang terjebak ini *slurry* propelan akan dipecah dengan menggunakan *slitter plate* pada alat *casting* di dalam *vacuum chamber*. Tulisan ini akan membahas pengaruh penambahan *slitter plate* terhadap kualitas propelan yang dihasilkan berupa tingkat kekeroposan dan densitasnya sebagai upaya memperoleh metode pembuatan propelan D550 untuk motor roket *case bonded*.

## 2. METODOLOGI

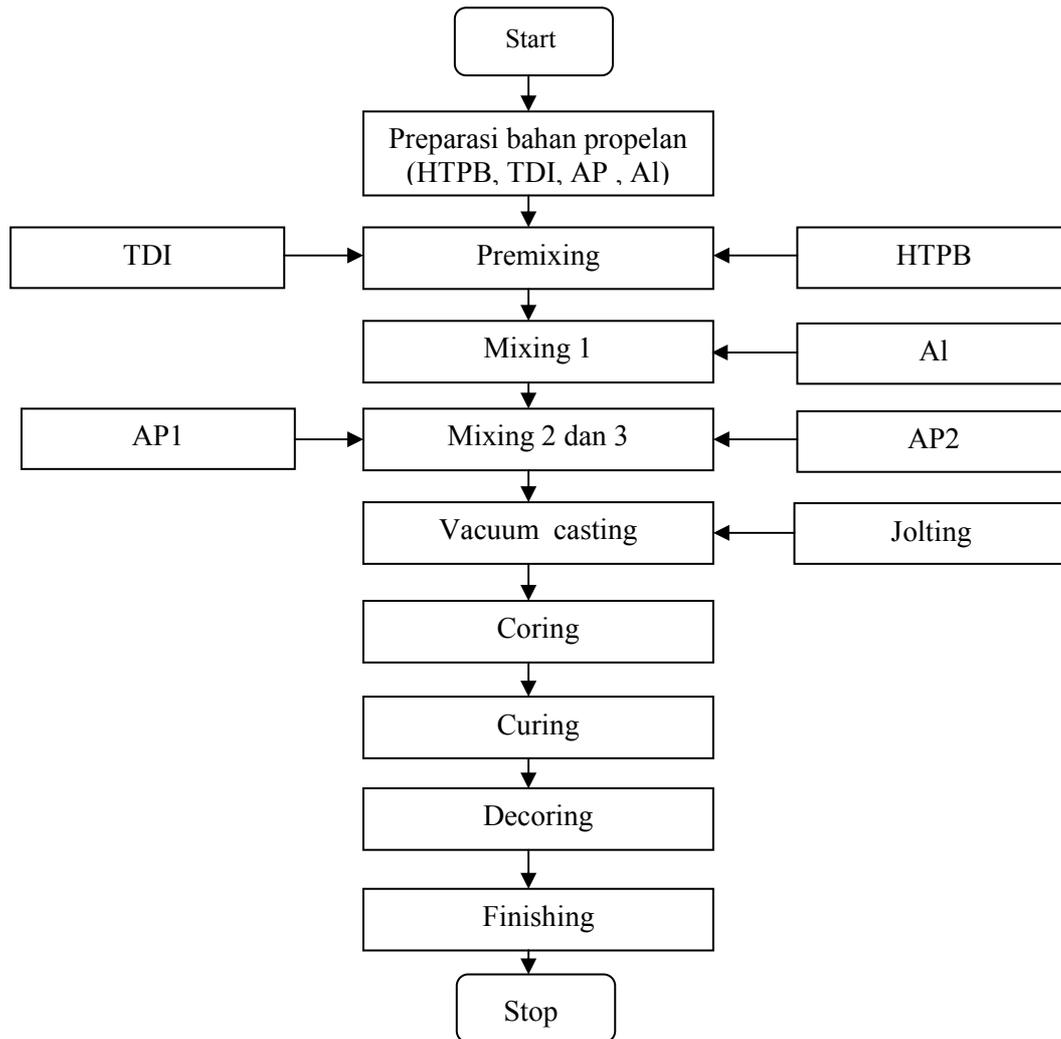
Upaya menghasilkan metode pembuatan propelan D550 untuk motor roket *case bonded* agar terbebas dari keropos dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut. Proses propelan *free standing* yang selama ini dilakukan dievaluasi dan dianalisis untuk mendapatkan faktor-faktor penyebab kekeroposnya propelan. Peralatan *casting* propelan D550 untuk motor roket *case bonded* dirancang. Mandrel yang sudah ada digunakan sebagai dasar dimensi peralatan *casting* yang dibuat. *Slitter plate* ditambahkan pada alat *casting* yang dipasang di bawah corong tuang (*hopper*) sebagai upaya untuk memecah dan mendistribusikan *slurry* propelan ke dalam tabung cetakan yang diharapkan mampu mengusir udara yang terjebak. Komposisi dan langkah proses pencampuran bahan serta kondisi proses pembuatan propelan yang digunakan sama dengan proses propelan *free standing* tetapi tidak menggunakan vibrasi (*jolting*). Camera video dipasang dalam *casting chamber* untuk mengamati proses turunnya *slurry* propelan. Propelan yang dihasilkan diuji radiografi untuk mengetahui tingkat kekeroposannya. Densitas propelan diukur baik di bagian bawah maupun bagian atas untuk mengetahui tingkat keseragamannya di sepanjang propelan. Pengujian yang serupa juga dilakukan pada propelan D550 yang dihasilkan secara *free standing* sebagai pembandingan. Langkah penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.1 di bawah ini.



Gambar 2.1 Langkah Penelitian

### 3. RANCANG BANGUN ALAT CASTING DAN PEMBUATAN PROPELAN D550

Proses pembuatan propelan yang dilakukan LAPAN selama ini menggunakan metode *free standing* dimana propelan dicetak menggunakan tabung cetakan secara terpisah dari tabung motor roket. Urutan proses pembuatan propelan yang dilakukan seperti terlihat pada Gambar 3.1. Pada proses tersebut pembuatan konfigurasi propelan dilakukan pada langkah *coring* dimana mandrel ditusukkan ke dalam tabung cetakan yang telah terisi propelan. Pengisian propelan ke dalam tabung cetakan dilakukan dengan menuangkan *slurry* propelan pada bak penuangan (*hopper*) yang diatur menggunakan katup bola (*ball valve*) ukuran 2 inci. *Slurry* diambil dari *mixer bowl* dan ditempatkan dalam beberapa wadah kecil untuk memudahkan penuangan ke dalam *hopper*. Cara seperti ini ternyata tidak bisa menjamin propelan yang dihasilkan bebas dari keropos. Gumpalan *slurry* akan masuk ke dalam tabung cetakan melalui *ball valve* dalam ukuran besar yang mungkin masih mengandung udara yang terjebak. Tingginya viskositas *slurry* juga akan berkontribusi terhadap kesulitan dalam penuangan. Adapun pada pembuatan propelan D550 *case bonded* ini mandrel sudah terpasang pada alat casting sehingga diperlukan dukungan dan pemegang mandrel yang dapat menuntun aliran *slurry* propelan. Oleh karena itu untuk menghasilkan propelan yang tidak keropos diperlukan suatu cara agar gumpalan *slurry* propelan yang masuk ke dalam cetakan sudah bebas dari udara yang terjebak dengan cara memecahnya menjadi bagian yang lebih kecil. Dalam hal ini diperlukan adanya celah sempit (*slitter plate*) yang dapat memecah dan mendistribusikan *slurry* tersebut ke dalam tabung cetakan. Berdasarkan hal ini telah dilakukan rancang bangun peralatan casting untuk propelan D550 *case bonded* seperti diperlihatkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.1. Langkah Pembuatan Propelan *Free Standing* LAPAN



Gambar 3.2 Rancang Bangun Alat Casting D550 *Case Bonded*

Propelan D550 telah dibuat menggunakan metode *case bonded* dan dilakukan uji radiografi serta densitasnya diukur dengan langkah seperti pada Gambar 2.1. Urutan langkah proses *mixing* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2. Pada proses pembuatan propelan ini tidak dilakukan *jolting*. Propelan *case bonded* ini dicetak ke dalam unit tabung motor roket *segmented* yang dilapisi dengan pelat aluminium 0,3 mm dan *release agent* sehingga bisa dikeluarkan dari tabung cetakan. Propelan

yang dihasilkan diuji radiografi dan diukur densitasnya. Pengujian yang serupa juga dilakukan terhadap propelan D550 *free standing* untuk digunakan sebagai perbandingan dan analisis.

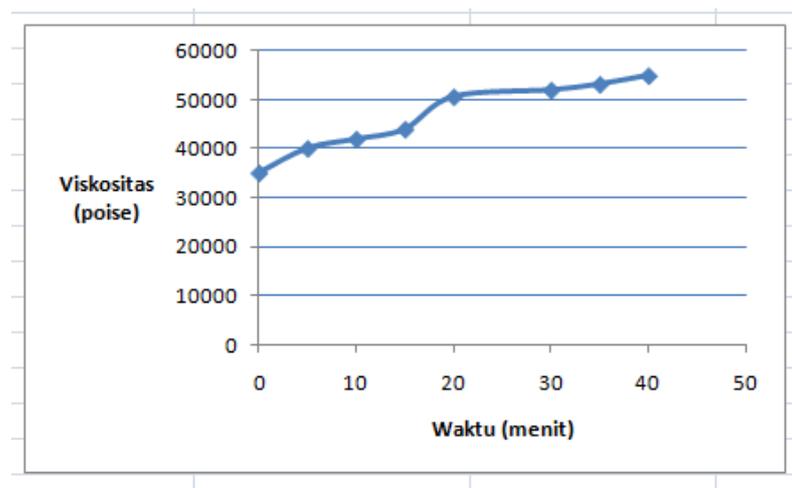
#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Hasil percobaan.

Proses pembuatan propelan D550 telah dibuat mulai dari langkah penyiapan bahan baku hingga *mixing* seperti pada Gambar 3.1. Sedangkan proses *casting* hingga akhir dilakukan dengan langkah seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1. *Slitter plate* ditambahkan dan dipasang pada bagian bawah corong keluarnya *slurry* di bawah *hopper* dalam *casting chamber*. Proses *casting* propelan D550 dan posisi *slitter plate* dalam *casting chamber* diperlihatkan pada Gambar 4.1. Waktu yang dibutuhkan untuk memasukkan *slurry* propelan tercatat 20 menit (lebih lama dari proses propelan *free standing* yang hanya 9 menit). Viskositas *slurry* propelan yang diukur menggunakan alat Brookfield DV-E Viscometer selama 40 menit adalah 30.000 hingga 54.000 poise seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2. Data camera video yang dipasang di dalam *casting chamber* memperlihatkan *slurry* propelan tertahan dan terdistribusi melalui *slitter plate* sebelum masuk ke dalam tabung cetakan propelan ( Gambar 4.3). Kondisi *slitter plate* setelah proses *casting* diperlihatkan pada Gambar 4.4



Gambar 4.1. Proses casting propelan D550 dan posisi *slitter plate* dalam *casting chamber*



Gambar 4.2 Peningkatan Viskositas *Slurry* Propelan Terhadap Waktu



**Gambar 4.3** Slurry propelan melewati *slitter plate*



**Gambar 4.4** Kondisi *slitter plate* setelah *casting*

Propelan D550 yang dibuat menggunakan *slitter plate* ini dicetak langsung ke dalam unit tabung motor roket D550 *segmented* yang panjangnya 80 cm tetapi bagian dalam tabung dilapisi dengan lembaran aluminium 0,3 mm dan *release agent* agar dapat dilepas. Hal ini dimaksudkan agar propelan yang dihasilkan dapat diuji kualitasnya. Gambar 4.5 memperlihatkan propelan D550 yang dihasilkan. Hasil uji radiografi menunjukkan bahwa propelan tersebut tidak keropos. Namun demikian masih terlihat beberapa lubang-lubang sangat kecil (*porous*) tetapi lebih sedikit dibandingkan dengan propelan D550 *free standing*. Densitas propelan juga telah diukur baik di bagian atas maupun bawah. Perbandingan tingkat kekeroposan dan densitas antara propelan D550 yang dibuat menggunakan *slitter plate* dengan propelan D550 yang dibuat secara *free standing* ditunjukkan pada Tabel 4.1.



**Gambar 4.5** Propelan D550 yang dihasilkan secara *case bonded*

Tabel 4.1 Tingkat kekeroposan dan densitas propelan D550

Produk Propelan D550	Densitas (gram /cm <sup>3</sup> )		Porositas	
	Atas	Bawah	Berpori	Keropos (voids)
Free Standing	1,672	1,685	ada	ada
Menggunakan <i>slitter plate</i>	1,521	1,615	ada	tidak ada

#### 4.2. Pembahasan

Berdasarkan data pengamatan di atas terlihat beberapa perbedaan antara metode pembuatan propelan *free standing* maupun *case bonded* yang menggunakan *slitter plate* terutama pada mekanisme proses casting maupun kualitas propelan yang dihasilkan. Waktu yang dibutuhkan untuk proses casting propelan yang menggunakan *slitter plate* adalah 20 menit ternyata lebih lama dari pada proses propelan *free standing* yang hanya 9 menit seperti terlihat di Tabel 4.1. Hal ini adalah wajar karena viskositas propelan cukup tinggi. Selain itu pada proses propelan untuk motor roket *case bonded slurry* tersebut harus melewati *slitter plate* di bawah corong tuang (*hopper*) sehingga dengan tingginya viskositas *slurry* tersebut akan menyebabkan material propelan harus tertahan pada celah sempit dan terdistribusi sebelum masuk ke dalam tabung cetakan. Adapun pada proses *free standing slurry* tersebut lebih leluasa masuk ke dalam tabung cetakan karena tidak tertahan sehingga membutuhkan waktu yang lebih singkat. Namun demikian dengan tidak adanya *slitter plate* ini maka ukuran gumpalan *slurry* akan cukup besar dan dimungkinkan masih mengandung udara yang terjebak di dalamnya. Kemungkinan inilah yang bisa menyebabkan propelan *free standing* selama ini sering mengandung keropos. Hal ini terbukti dari hasil uji radiografi dimana propelan *case bonded* tidak terdapat keropos (*voids*) walaupun juga masih berpori seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1. Adanya pori pada propelan mungkin disebabkan oleh tingginya viskositas *slurry* propelan. Makin tinggi viskositas *slurry* maka material propelan akan makin sulit bergeser atau berpindah untuk mengisi ruang kosong secara leluasa. Besarnya viskositas *slurry* propelan komposit HTPB pada umumnya saat proses casting propelan berkisar antara 10.000 hingga 20.000 poise (Sutton, 2001). Adapun data viskositas *slurry* propelan D550 yang terukur disajikan pada Gambar 4.5. Berdasarkan data tersebut berarti viskositas propelan D550 terlalu tinggi.

Suatu propelan diharapkan mempunyai densitas yang tinggi karena motor roket tersebut akan memuat jumlah propelan yang lebih banyak sehingga lebih efisien. Propelan D550 yang dibuat secara *case bonded* menggunakan *slitter plate* pada penelitian ini ternyata menghasilkan densitas yang lebih rendah dibandingkan dengan propelan *free standing*. Selain itu ketidakseragaman densitas di sepanjang propelan *case bonded* ini juga lebih besar dibanding propelan *free standing* (lihat Tabel 2.1). Hal ini dapat dikarenakan adanya *slitter plate* yang mempunyai celah sempit pada alat casting. Tingginya viskositas menyebabkan *slurry* propelan tertahan di bagian *slitter plate* sehingga pengaruh *vacuum chamber* dalam menarik material propelan tersebut tidak begitu kuat. Hal ini mengakibatkan proses pemadatan kurang berlangsung dengan baik. Perlu diketahui bahwa komposisi propelan yang digunakan pada penelitian ini sama dengan komposisi propelan yang dibuat secara *free standing*. Viskositas *slurry* pada pembuatan propelan *free standing* ini tergolong cukup tinggi. Di lain pihak nilai viskositas *slurry* propelan ini makin meningkat dengan bertambahnya waktu (lihat Gambar 4.5). Proses casting propelan *case bonded* dengan *slitter plate* ini memerlukan waktu 20 menit dimana viskositas propelan telah berubah dari 30.000 menjadi 50.000 poise. Makin tinggi viskositas maka *slurry* propelan akan makin sulit untuk mengalir ke dalam tabung cetakan propelan dengan bantuan tarikan *vacuum chamber*. Hal ini akan mengakibatkan tumpukan propelan dalam tabung cetakan kurang padat dibandingkan jika viskositasnya rendah. Perbedaan viskositas di awal dan akhir penuangan *slurry* ini akan menyebabkan propelan bagian atas kurang kompak dan densitasnya lebih kecil. Berdasarkan hal tersebut dapat dipahami bahwa keseragaman densitas propelan *case bonded* yang dibuat menggunakan *slitter plate* relatif lebih rendah dibandingkan propelan yang dibuat secara *free standing* karena memerlukan waktu casting lebih lama dimana peningkatan viskositas *slurry* sudah cukup tinggi.

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1. Kesimpulan

Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Agar propelan yang dibuat secara *case bonded* tidak keropos diperlukan suatu rancangan alat yang dapat menghilangkan udara yang terjebak di dalam *slurry* sebelum masuk ke dalam *casting chamber*.
- Alat casting propelan D550 untuk motor roket *case bonded* telah diperoleh dengan menambahkan *slitter plate*.
- *Slitter plate* yang ditambahkan dalam alat *casting* mempunyai peran cukup penting dalam menghilangkan kekeroposan propelan D550.
- Propelan D550 yang dihasilkan menggunakan *slitter plate* dengan komposisi dan kondisi proses *mixing* yang sama dengan propelan *free standing* masih berpori tetapi sudah tidak terdapat keropos (*void*).
- Tingkat keseragaman densitas propelan D550 di sepanjang bagiannya yang dibuat menggunakan *slitter plate* lebih rendah dari pada propelan yang dibuat secara *free standing*.

### 4.2. Saran

- *Slurry* propelan LAPAN yang digunakan selama ini mempunyai viskositas yang terlalu tinggi sehingga menyulitkan dalam proses pembuatan propelan. Oleh karena itu penurunan besarnya viskositas *slurry* propelan ini harus dilakukan misalnya dengan menambahkan plasticizer.
- Sebenarnya formula propelan yang menggunakan plasticizer secara *lab scale* telah diperoleh oleh LAPAN dan telah dapat menurunkan harga viskositas *slurry* hingga menjadi kurang lebih 20.000 poise. Oleh karena itu formula tersebut perlu segera diterapkan ke dalam proses pembuatan propelan yang akan diaplikasikan pada motor roket yang sesungguhnya.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Tulisan ini terwujud atas bantuan dari beberapa pihak yang terlibat. Oleh karena itu kami mengucapkan terimakasih kepada Kemenristek melalui Program Riset Insentif PKPP 2012 yang telah membiayai kegiatan ini. Terimakasih juga kami sampaikan kepada para personil Lab Proses Propelan - Bidang Teknologi Propelan – Pusat Teknologi Roket – LAPAN yang telah membantu dalam proses pembuatan propelan D550. Selain itu tidak lupa kami ucapkan terima kasih kepada personil Lab Uji Kualitas – Bidang Teknologi Propelan yang telah melakukan uji radiografi serta ibu Ratna Wijayanti yang membantu dalam pengukuran densitas propelan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Dombe, Ganish et al, *Pressure Casting of Composite Propellant*, Indian Journal of Chemical Technolgy, Vol 15 , pp 420- 423, 2008.
- NASA, *Solid propellant Selection and Characterization*, NASA Space Vehicle Design Criteria Monographs Issued To Date, NASA SP 8064, 1971.
- Prangili, Siti dan Sutrisno, *Pemilihan jenis Plasticizer Pada proses Pembuatan Propelan padat HTPB*, Jaringan Kerjasama Kimia Indonesia , Yayasan Media Kimia Utama , Yogyakarta, 2008.
- Sutton, GP and Biblarz, *Rocket Propulsion Elements*, Seventh edition, John Wiley & Sons Inc, New York, 2001.
- ....., <http://www.britannica.com>, *Cutaway of large solid rocket motor*, diunduh 5 Okt 2012.

## **DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS**

### **DATA UMUM**

Nama Lengkap : Drs. Sutrisno, MSi  
Tempat & Tgl. Lahir : Boyolali / 26 Mei 1963  
Jenis Kelamin : Pria  
Instansi Pekerjaan : Bidang Propelan – Pusat Teknologi Roket - LAPAN  
NIP. / NIM. : 19630526 199001 1 001  
Pangkat / Gol. Ruang : Pembina Utama Muda / IVc  
Jabatan Dalam Pekerjaan : Peneliti Madya  
Agama : Islam  
Status Perkawinan : Kawin

### **DATA PENDIDIKAN**

SLTA	: SMAN I Boyolali	Tahun: 1982
STRATA 1 (S.1)	: FMIPA Kimia- UGM	Tahun: 1988
STRATA 2 (S.2)	: Materials Science - UI	Tahun: 1997
STRATA 3 (S.3)	: Belum	Tahun:

### **ALAMAT**

Alamat Rumah : Komplek LAPAN Blok C No.18 Rumpin- Bogor  
HP. : 08121991863  
Alamat Kantor / Instansi : Jl Raya LAPAN No.2 Mekarsari – Rumpin-Bogor  
Telp. : 021 70942064  
Email: strn.tyb@gmail.com