

OPTIMASI SISTEM LINING MOTOR ROKET PADAT RX1220 MELALUI PERUBAHAN KOMPOSISI MATERIAL LINER DAN METODE LINING (OPTIMIZATION OF LINING SYSTEM FOR RX1220 SOLID ROCKET MOTOR THROUGH IMPROVEMENT OF LINER MATERIAL COMPOSITION AND LINING METHOD)

Wiwiek Utami Dewi

Perekayasa Bidang Propelan, Pusat Teknologi Roket, Lapan
e-mail: wiwiekdewi@gmail.com

ABSTRACT

In 2013, as many as 21.42% of the RX1220 rocket motor production did not pass the radiographic testing due to air bubble presences within the liner layer (liner defects). In 2014, there are dimensional changes in the inside diameter of the rocket motor tube (107.5 mm to 107.1 mm). Lining process by using gravity casting method becomes more difficult to apply. Liner viscosity is considerably high for the lining method. The efforts to lower its viscosity had been done yet the result did not reach the expectation. The changes in liner composition and lining method were conducted to optimize the RX1220 lining process. The result was good. After the new composition and improved method applied, no more liner defects in RX1220. All of RX1220 rocket motors were labeled QC pass from the radiographic testing.

Keywords: *Liner material, Lining method, Solid rocket motor, RX1220*

ABSTRAK

Pada tahun 2013, sebanyak 21,42% motor roket RX1220 yang diproduksi dinyatakan tidak lulus uji radiografi karena memiliki banyak rongga udara pada lapisan *liner*-nya (cacat *liner*). Tahun 2014, terjadi perubahan dimensi diameter dalam tabung motor roket dari 107,5 mm menjadi 107,1 mm. Perubahan dimensi ini membuat celah *liner* semakin sempit (1,5 mm menjadi 1,3 mm). Proses pengecoran dengan metode *gravity casting* menjadi semakin sulit. Viskositas *liner* yang tinggi akan menjadi hambatan utama keberhasilan proses *liner*. Upaya penurunan viskositas sudah dilakukan namun belum memberikan hasil terbaik. Perubahan komposisi *liner* dan metode *lining*-nya telah dilakukan untuk mengoptimasi proses *lining* roket RX1220. Optimasi memberikan hasil yang diharapkan. Setelah *liner* komposisi baru dan perbaikan metode *lining* diterapkan, tidak ada lagi motor roket RX1220 yang dinyatakan tidak lulus uji radiografi (cacat *liner*).

Kata kunci : *Material liner, Metode lining, Motor roket padat, RX1220*

1 PENDAHULUAN

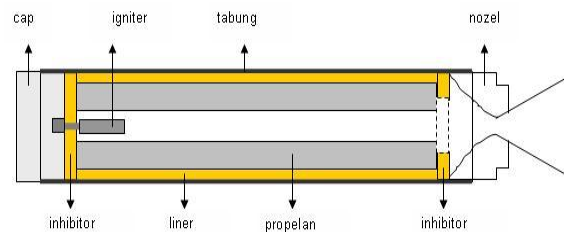
Liner adalah lapisan tipis lengket yang akan hangus (*charred*) secara bertahap. *Liner* biasanya terbuat dari material polimer dan diaplikasikan pada

tabung motor roket untuk menciptakan ikatan yang kuat antara propelan dan tabung motor roket atau antara propelan dan lapisan insulator. *Liner* memiliki fungsi perekatan, fungsi insulasi

(membatasi aliran panas ke tabung motor roket selama proses pembakaran propelan) dan sekaligus fungsi restriksi (menunda pembakaran yang tidak diinginkan pada bagian tertentu) (Sutton, 2001).

Proses pengaplikasian *liner* pada motor roket tergantung pada jenis proses produksi motor roket yang digunakan. Saat ini, proses produksi motor roket padat dibagi menjadi dua metode yaitu (Sutton, 2001) : *cartridge loaded (free standing)* dan *case bonded*. Pada metode *free standing*, propelan sebelumnya telah dibuat terpisah dengan cetakan tersendiri lalu dimuat dan dirakit pada motor roket. Sementara pada metode *case bonded*, propelan langsung di-*casting* (dicetak) pada tabung motor roket yang sebelumnya sudah diberi lapisan insulator dan *liner* (adesif). Propelan *free standing* dapat dengan mudah diganti bila propelan sudah kadaluarsa. Sementara itu pada metode *case bonded*, propelan akan merekat kuat di dalam tabung motor roket sehingga motor roket tidak bisa dipakai ulang.

Proses produksi motor roket Lapan dilakukan dengan perpaduan antara metode *free standing* dan *case bonded*. Propelan dibuat terpisah menggunakan cetakan propelan. Propelan yang dihasilkan kemudian disesuaikan dimensinya dengan kebutuhan desain lalu dilapis dengan protektor termal (insulator) dan dimasukkan ke dalam tabung motor roket. Selanjutnya celah antara propelan dengan dinding tabung diisi dengan material *liner*. Material *liner* berfungsi sebagai perekat antara propelan dengan tabung motor roket. Celah antara propelan dan tabung motor roket harus cukup lebar agar cairan *liner* yang viskositasnya tinggi dapat mengalir dengan mengandalkan gaya gravitasi (*gravity casting*). Gambar penampang motor roket padat yang diproduksi oleh Lapan dapat dilihat pada Gambar 1-1 berikut.



Gambar 1-1: Susunan Motor Roket Padat Lapan (Sutrisno, 2011)

Masalah pada sistem *lining* RX1220 ada dua: (1) celah sempit akibat berkurangnya diameter dalam tabung dan penebalan lapisan protektor termal pada sambungan fiber serta (2) viskositas *liner* yang cukup besar. Celah sempit ditambah penebalan fiber dan viskositas *liner* yang cukup tinggi membuat proses *lining* sangat beresiko kegagalan.

Pada tahun 2013, dimana diameter dalam tabung motor roket 107,5 mm (celah *liner* sekitar 1,5 mm), motor roket RX1220 yang dinyatakan *reject* oleh bagian radiografi pengujian mutu adalah sebanyak 3 motor dari 14 motor yang dibuat (21,42%). Jika pada tahun 2014 tidak dilakukan optimasi material dan sistem *lining* maka dapat dipastikan jumlah motor roket RX1220 yang dinyatakan *reject* akan bertambah.

Celah antara propelan terlapis dan tabung motor roket RX1220 yang terlalu sempit (sekitar 1,5 mm) mengakibatkan *slurry liner* yang memiliki viskositas sekitar 60 poise tidak bisa mengalir dengan baik. Proses pengecoran *liner* yang menggunakan sistem *gravity casting* membuat *liner* tidak bisa mengalir dengan baik memenuhi celah. Gelembung udara banyak yang terjebak sehingga mengakibatkan *liner* berpori.

Salah satu cara yang sudah dilakukan untuk menurunkan viskositas *liner* adalah penggunaan pengencer. Penambahan pengencer (BGE – Butil Glisidil Eter) hingga 10% sudah dilakukan, namun viskositas *liner* belum mencapai hasil yang diharapkan. Penambahan pengencer di atas 10% tidak disarankan karena akan mengurangi kekuatan mekanik *liner*

(Justus Kimia Raya, 2011). Selain mengurangi kekuatan mekanik, penggunaan pengencer yang merupakan bahan *volatile* sebaiknya dihindari karena berdampak buruk pada kesehatan.

Liner yang berpori sangat tidak diinginkan. Gelembung udara mengurangi kekuatan mekanik *liner* secara signifikan. *Liner* harus mampu menahan beban struktural yang terjadi pada saat roket beroperasi. Jika *liner* tidak menutup seluruh celah dengan baik maka propelan akan mengalami getaran yang luar biasa dan tidak memiliki perlindungan termal yang layak sehingga kemungkinan roket akan mengalami kegagalan.

Pada tahun 2014, diameter dalam tabung motor roket RX1220 mengalami perubahan dimensi dari 107,5 mm menjadi 107,1 mm. Celah *liner* menjadi semakin sempit, dari 1,5 mm menjadi 1,3 mm. Viskositas material *liner* harus sangat encer agar material *liner* dapat turun dengan baik. Selain itu juga diperlukan perbaikan metode *lining* untuk meniadakan gelembung udara yang terjebak pada celah.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya di laboratorium *liner*-inhibitor bidang Teknologi Propelan, Pustekroket, material *liner* yang diinginkan adalah yang memiliki viskositas rendah namun tetap memenuhi kriteria material *liner*, antara lain:

- *Liner* yang memiliki viskositas kurang dari 60 poise, waktu *pot life* yang panjang (lebih dari 60 menit), densitas lebih kecil dari propelan ($< 1,6 \text{ gr/cm}^3$), kekerasan kurang dari 80 shore A, dan kuat tarik lebih baik dari propelan ($> 12 \text{ kg/cm}^2$),
- *Liner* juga harus memiliki sifat termal yang baik (konduktivitas termal $< 0,6 \text{ W/mK}$ dan ketahanan termal pada pemanasan DTG60 $500^\circ\text{C} < 80\%$).

2 METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dibagi dalam dua tahap. Tahap pertama adalah tahap

menentukan komposisi material *liner* sedangkan tahap kedua adalah tahap perbaikan metode *lining*.

Material *liner* yang digunakan sebagai *liner* adalah resin berbasis epoksi polisulfida. *Liner* epoksi polisulfida adalah material *liner* yang biasa dipakai di Pustekroket, Lapan. *Liner* tersusun dari campuran tiga bahan yaitu resin epoksi (tipe DGEBA), hardener dan polisulfida cair LP3 (Morton International). LP3 ditambahkan pada campuran epoksi untuk memperbaiki sifat fleksibilitas *liner*. Campuran epoksi dan hardener saja menghasilkan *liner* yang terlalu kaku dan getas. Ada dua jenis hardener yang digunakan pada penelitian ini: aminopoliamida dan sikloalifatikamina.

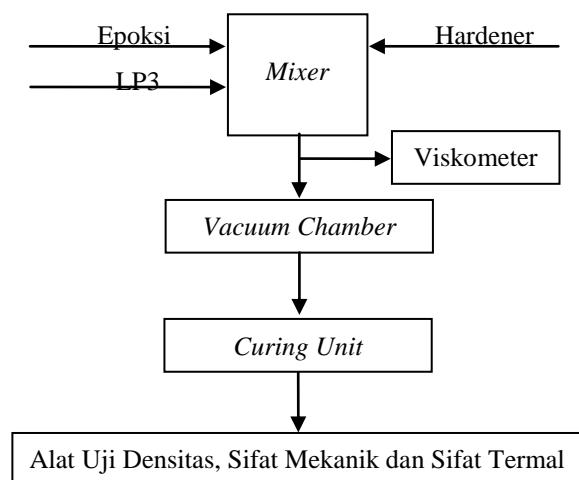
Pada penelitian ini digunakan dua jenis hardener yang berbeda. Perbandingan komposisi epoksi dan hardener sudah ditentukan dari rekomendasi vendor pabrik epoksi sesuai dengan *technical data sheet* epoksi sehingga tidak perlu lagi dilakukan penelitian penentuan komposisi hardener. Komposisi LP3 dibuat konstan. Komposisi *liner* yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada Tabel 2-1.

Tabel 2-1: KOMPOSISI *LINER*

No	Nama Sampel	Komposisi (bagian berat)
1	<i>Liner</i> 1	Epoksi: Hardener Sikloalifatik Amina: LP3 (1 : 0,5 : 1)
2	<i>Liner</i> 2	Epoksi: Hardener Amino Poliamida: LP3 (1 : 1 : 1)

Proses pencampuran resin dilakukan dengan dua tahap pada sebuah *mixer* dengan kecepatan 60 rpm dalam kondisi ambien (tekanan dan suhu ruang). Pada tahap 1, epoksi dan LP3 diaduk selama 3 menit. Pada tahap 2, hardener ditambahkan pada campuran epoksi-LP3 lalu diaduk kembali selama 3 menit. *Slurry liner* kemudian divakum pada *vacuum chamber*, lalu dituang pada

kotak sampel aluminium. Proses pematangan sampel dilakukan dalam kondisi ambien selama 24 jam. Diagram blok penelitian tahap 1 dapat dilihat pada Gambar 2-1.



Gambar 2-1: Diagram Blok Penelitian Tahap 1 (Pembuatan dan Pengujian Material *Liner*)

Pengujian karakteristik *liner* dilakukan dengan bantuan beberapa alat pengujian seperti tertera pada Tabel 2-2.

Tabel 2- 2: PENGUJIAN KARAKTERISTIK *LINER*

No	Pengujian	Alat
1	Viskositas & <i>Pot Life</i>	Viscometer VT-04
2	Densitas	Densitometer HR200 AND AD-1653
3	Sifat Mekanik	
	Kekerasan	Durometer Tecklock Type GS-709N
	Kuat Tarik	Tensilon UTM III - 100
	Elongasi	(Kuat tarik material <i>liner</i> diuji secara unaksial dengan model sampel JANAF (Joint - Army - Navy - Air - Force))
4	Sifat Termal	

Konduktivitas Termal	Conductometer QTM-500
	DTG-60 (Simultaneous DTA - TG) Shimadzu
Ketahanan Termal (Berat Hilang)	(Temperatur operasi 30 - 500°C, atmosfer nitrogen berlaju alir 50 ml/menit, dan laju pemanasan 10°C/menit)

Hasil penelitian tahap 1 adalah komposisi *liner* baru RX1220 yang selanjutnya digunakan pada penelitian tahap 2. Pada penelitian tahap 2, perbaikan *metode lining* dilakukan dengan dua cara, yaitu:

- Perataan bagian protektor termal dan menggunakan alat *shaker*,
- Perataan bagian protektor termal dan pembuatan sekat pada *feeding liner*.

Penelitian tahap 2 dilakukan bersamaan dengan produksi motor roket RX1220. Material yang telah terpilih sebagai *liner* baru RX1220 akan digunakan pada *production line* proses *lining* motor roket RX1220 dengan menggunakan dua metode yang telah disebutkan di atas. Motor roket RX1220 yang sudah di-*lining* menggunakan dua metode tersebut kemudian diuji radiografi dengan x-ray untuk mengetahui keberhasilan proses.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik *liner* hasil pengujian disajikan pada Tabel 3-1, 3-2 dan 3-3. Tabel 3-1 menyajikan nilai viskositas, *pot life*, dan densitas *liner*. Tabel 3-2 menyajikan sifat mekanik *liner* (kekerasan, kuat tarik dan elongasi). Sementara itu, Tabel 3-3 menyajikan sifat termal *liner* (konduktivitas termal dan ketahanan termal).

Tabel 3-1: VISKOSITAS, POT LIFE & DENSITAS LINER

Nama Sampel	Viskositas (poise)	Pot Life (menit)	Densitas (gr/cm ³)
Liner 1	7	120	1,17
Liner 2	40	60	1,13

Tabel 3-2: SIFAT MEKANIK LINER

Nama Sampel	Kekerasan (shore A)	Kuat Tarik (kg/cm ²)	Elongasi (%)
Liner 1	58	24,92	55,80
Liner 2	67	26,28	32,26

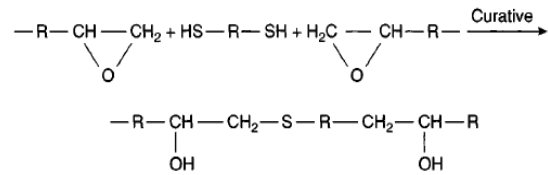
Tabel 3-3: SIFAT TERMAL LINER

Nama Sampel	Konduktivitas Termal (W/mK)	Berat Hilang (%)
Liner 1	0,275	78,73
Liner 2	0,228	74,59

Viskositas *liner* 1 jauh lebih kecil daripada *liner* 2. *Pot life*-nya pun lebih lama daripada *liner* 2. Ditinjau dari segi viskositas dan *pot life* maka *liner* 1 sangat ideal digunakan sebagai *liner* RX-1220. Karakteristik *liner* 1 dan *liner* 2 memenuhi persyaratan *liner* yang baik seperti dijelaskan sebelumnya pada bagian pendahuluan. Berdasarkan viskositasnya, *liner* 2 lebih cocok digunakan pada motor roket yang memiliki celah besar, lebih dari 3 mm. Viskositas *liner* 2 (40 poise) tidak begitu jauh dari viskositas *liner* lama yang sudah ditambahkan BGE 10% (45 poise).

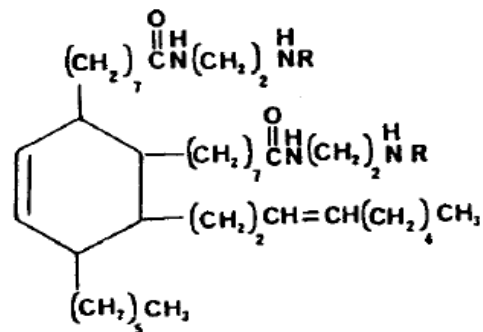
Berikut pada Gambar 3-1 adalah reaksi pematangan epoksi, hardener dan LP3. LP3 sebenarnya merupakan salah satu *curing agent* untuk epoksi namun karena atom akhir pada rantai LP3 adalah merkaptan maka LP3 tidak membuat epoksi matang sempurna. Merkaptan yang bersifat asam lemah, hanya bisa membentuk gel dengan epoksi tapi tidak cukup kuat untuk membuat epoksi matang sempurna. Konsekuensinya, LP3 digunakan sebagai *reactive modifiers* pada formula *curing agent*. (Goodman, 1998). LP3 meningkatkan ketahanan dan kekuatan,

meningkatkan fleksibilitas, dan menurunkan volume penyusutan. Oleh karena keberadaan LP3 dalam produk epoksinya maka *liner* Lapan disebut *liner* epoksi polisulfida secara kimia.



Gambar 3-1: Reaksi Pematangan Epoksi, Hardener dan LP3. (Morton Internasional, 1998)

Hardener aminopoliamida adalah asam lemak dimer atau asam lemak terpolimerisasi yang direaksikan dengan beberapa variasi amina alifatik seperti etilen diamina, DETA, TETA, dan TEPA. Pada Gambar 3-2 dapat dilihat struktur kimia amino poliamida dimana R adalah unit dimer atau amina lain.

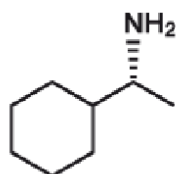


Gambar 3-2: Struktur Kimia Hardener Amino Poliamida (Goodman, 1998)

Amino poliamida memiliki struktur yang terlalu kompleks sehingga sulit untuk menentukan berapa hidrogen yang akan bereaksi dengan cincin epoksida. Molekul hasil berstruktur sangat besar karena hardener amino poliamida memiliki variasi tingkat hidrogen amina sekunder, amina tersier, amida reaktif dan gugus karboksil yang beragam. Semua gugus-gugus ini bersama-sama berkontribusi dalam reaksi pematangan epoksi (Goodman, 1998). Oleh karena hardener amino poliamida memiliki banyak gugus aktif maka proses pematangan *liner* menjadi semakin cepat. Hardener amino poliamida memiliki *amine value* 335 – 550 mg KOH/g dan berat ekuivalen

hidrogen aktif sebesar 105 g/equiv (Justus Kimia Raya, 2011).

Hardener sikloalifatikamina tidak memiliki banyak molekul aktif sehingga kurang reaktif. *Amine value* 290 – 360 mg KOH/g dan berat ekuivalen hidrogen aktif 86 g/equiv (Justus Kimia Raya, 2011). Struktur kimia hardener sikloalifatik amina dapat dilihat pada Gambar 3-3. Viskositas hardener sikloalifatik amina berada jauh dibawah hardener amino poliamida. Viskositas hardener amino poliamida sekitar 100 – 200 poise (25°C) sementara sikloalifatikamina hanya 0,5 – 1 poise (25°C) (Justus Kimia Raya, 2011). Ketika reaktivitas *curing agent* menurun maka proses pematangan juga akan melambat. Proses pematangan yang melambat berarti akan menurunkan laju kenaikan viskositas *liner* dan memanjangkan waktu *pot life* sehingga proses pengecoran *liner* dapat dilakukan dengan lebih leluasa (Dewi, 2013).



Gambar 3-3: Struktur Kimia Hardener Sikloalifatik Amina

Dengan sifat termal kedua jenis *liner* yang tidak begitu berbeda, nilai kuat tarik yang berdekatan, selain viskositas dan *pot life*, keunggulan *liner* 2 terletak pada nilai elongasinya yang cukup tinggi. Nilai elongasi mewakili sifat fleksibilitas/elastisitas material. Makin tinggi nilai elongasi maka material makin elastis. Suatu *liner* harus memiliki kuat tarik yang tinggi namun juga harus memiliki elastisitas yang mencukupi. Hal ini dikarenakan *liner* harus mampu menahan stress struktural yang terjadi selama roket beroperasi. Nilai elongasi yang tinggi lebih diinginkan pada aplikasi yang melibatkan gerakan hebat (Pizzi, 2003). *Liner* yang rapuh (tidak elastis) akan membuat *liner* kurang mampu menahan gaya getar dan gelombang kejut yang terjadi pada saat

roket meluncur. *Liner* 2 lebih elastis daripada *liner* 1 sehingga dapat disimpulkan bahwa *liner* 2 mampu meredam getaran lebih baik dari *liner* 1.

Berdasarkan pertimbangan yang telah dijabarkan tersebut maka diputuskan bahwa material *liner* RX1220 yang baru menggunakan komposisi **Liner 1** yaitu epoksi: hardener sikloalifatikamina : LP3 = 1:0,5:1.

Setelah mendapatkan komposisi *liner* RX1220 selanjutnya dilakukan penelitian tahap 2 : perbaikan metode *lining*. Ada dua buah motor roket yang digunakan dalam penelitian tahap 2 yaitu RX1220.14.03 dan RX1220.14.04. Berikut pada Tabel 3-4 dijabarkan perlakuan pada masing-masing motor roket. Gambar 3-4 dan 3-5 memperlihatkan perbedaan metode *lining* kedua motor.

Tabel 3-4:PERLAKUAN MOTOR ROKET RX1220

Motor Roket	Perlakuan
RX1220.14.03	Perataan bagian protektor termal dan pengecoran menggunakan <i>shaker</i> pada bagian bawah
RX1220.14.04	Perataan bagian protektor termal dan pembuatan sekat pada <i>feeding liner</i>



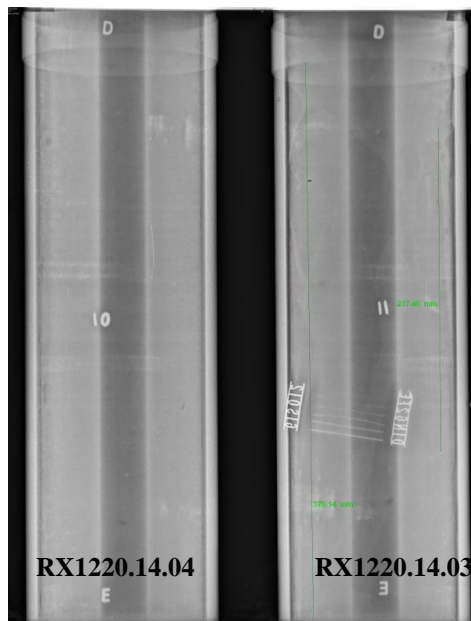
Gambar 3-4: Metode *lining* RX1220 dengan *Shaker*



Gambar 3-5: Sekat Pada Bagian *Feeding Liner*

Penggunaan alat *shaker* diharapkan dapat menimbulkan getaran pada tabung motor roket sehingga *slurry liner* yang tidak dapat turun akan turun dengan lebih baik. Sementara penggunaan sekat pada bagian *feeding liner* diharapkan dapat memberikan jalan keluar pada udara yang terdapat pada celah *liner* (Dewi, 2014).

Kedua motor roket dicor menggunakan material *liner* 1. Setelah *liner* matang, motor roket kemudian diuji radiografi. Hasil pengujian radiografi x-ray kedua motor roket dapat dilihat pada Gambar 3-6 berikut.



Gambar 3-6: Hasil Radiografi RX1220.14.03 dan RX1220.14.04

Bagian lebih gelap (hitam) pada gambar hasil x-ray menunjukkan bahwa pada bagian tersebut memiliki densitas yang lebih rendah. Warna hitam pada celah *liner* RX1220.14.03 memperlihatkan

bahwa *liner* tidak terisi sempurna. Ada kekosongan *liner* merata sepanjang tabung. Sebaliknya, pada motor RX1220.14.04 tidak terdapat warna hitam yang menandakan kekosongan. Hal ini menunjukkan bahwa *metode lining* dengan menggunakan sekat pada bagian *feeding liner* memberikan hasil yang lebih baik daripada yang menggunakan alat *shaker*.

Diameter dalam tabung yang makin kecil (107,1 mm) membuat propelan yang sudah dilapis semakin susah masuk ke tabung ketika proses *install*. Fiber dan resin pelapis yang cukup tebal hanya menyisakan celah sekitar 1,25 – 1,3 mm untuk *liner*. Celah yang makin sempit membuat proses *lining* semakin sulit. Gelembung udara yang terjadi pada *liner* disebabkan oleh terjebaknya udara pada celah antara propelan dan tabung motor roket.

Lapisan protektor termal pada RX1220 merupakan sambungan dua jenis fiber : *fiber carbon* dan *fiber glass cloth*. *Fiber carbon* digunakan sebagai protektor termal pada bagian propelan *grain star 7* sementara *fiber glass cloth* digunakan pada bagian propelan *grain hollow*. Pertemuan antara *fiber carbon* dan *fiber glass cloth* sepanjang 10 cm menimbulkan tumpang tindih *fiber* (penebalan) yang sering kali menjadi penghalang turunnya *slurry liner* pada saat proses pengecoran. Pengikiran dan pengamplasan dilakukan pada bagian tebal bertumpuk tersebut. Perataan dilakukan hingga permukaan tebal tersebut rata dengan sekitarnya. *Waterpass* digunakan sebagai alat QC kerataan lapisan.



Gambar 3-7: Proses Perataan Lapisan Protektor Termal

Proses *lining* roket-roket Lapan adalah *gravity casting*. *Slurry liner* dituang secara vertikal pada tabung yang dekat bagian nosel. *Slurry liner* akan turun perlahan mengisi celah dari ujung bagian nosel ke cap. Pada RX1220, udara didalam celah tidak dapat keluar ke atas karena tertutup oleh *slurry liner* yang masuk. Penampang atas *feeding liner* tertutupi *slurry liner* seluruhnya sehingga menutup jalan keluar udara pada celah. Celah yang begitu sempit semakin menyulitkan udara untuk keluar sehingga akhirnya terjebak dan membuat *liner* penuh rongga udara setelah matang. Oleh karena itu, penggunaan *shaker* menjadi kurang efektif. *Shaker* tidak dapat mengeluarkan udara yang terjebak didalam celah *liner*.

Perbaikan pada RX1220.14.04 dilakukan pada metode penuangan *slurry liner*. Bagian *feeding liner* diberi sekat yang membelah penampang *feeding* menjadi dua bagian. *Slurry liner* dituang pada salah satu bagian sementara yang lain dibiarkan kosong sebagai jalan keluar udara yang ada di dalam celah. Berdasarkan hasil radiografi, metode ini terbukti efektif. Setelah diterapkan dan dijadikan SOP pada proses *lining* RX1220, semua motor roket RX1220 pada tahun 2014 mulai nomor produksi 04 hingga 85 tidak ada yang dinyatakan *reject* (cacat *liner*) oleh bagian radiografi pengujian mutu.

4 KESIMPULAN

Perubahan komposisi material dan metode *lining* telah berhasil dilakukan pada motor roket RX1220. Material *liner* RX1220 baru memiliki komposisi epoksi : hardener sikloalifatik amina : LP3 sebesar 1 : 0,5 : 1 bagian berat. Metode *lining* baru pada motor roket RX1220 menggunakan sekat pada bagian *feeding liner* pada saat proses pengecoran *liner*. Komposisi *liner* baru dan pembuatan sekat pada bagian *feeding liner* terbukti berhasil meniadakan

pembentukan gelembung udara pada celah *liner*.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan pada Drs. Sutrisno, M.Si selaku pembimbing. Ucapan terima kasih juga ditujukan pada rekan-rekan peneliti, perekayasa dan teknisi di Laboratorium *Liner-Inhibitor*, Laboratorium Pengujian Mutu dan Laboratorium Proses Propelan, Bidang Teknologi Propelan, Pustekroket, Lapan.

DAFTAR RUJUKAN

- Dewi, Wiwiek Utami, 2013. *Technical Note Perekayasa Bulan Desember*, Program Pengembangan Roket Konversi, Rumpin : Pustekroket, Lapan.
- Dewi, Wiwiek Utami, 2014. *Technical Note Perekayasa Bulan Maret*, Program Pengembangan Roket Konversi, Rumpin : Pustekroket, Lapan.
- Goodman, Sidney H., 1998. *Handbook of Thermoset Plastics (2nd Edition)*, Chapter 6, Epoxy Resin, Park Ridge, N. J., U.S.A.: Noyes Publication.
- Integrated Laboratory System, Inc, 2004. *N-Butyl Glycidyl Ether (BGE) : Review of Toxicological Literature*, North Carolina USA : Department of Health and Human Service.
- Justus Kimia Raya, 2011. *Butil Glisidil Eter (BGE)*, Technical Data Sheet, Jakarta : CV. Justus Kimia Raya.
- Justus Kimia Raya, 2011. *Hardener B Amino Poliamida*, Technical Data Sheet, Jakarta : CV. Justus Kimia Raya.
- Justus Kimia Raya, 2011. *Hardener EPH 555 Sikloalifatik Amina*, Technical Data Sheet, Jakarta : CV. Justus Kimia Raya.
- Morton International, 1988. *LP-Epoksi Resins*, Technical Catalogue, Coventry, UK: Morton International Ltd.

Pizzi, A., Mittal, K.L., 2003. *Handbook of Adhesives Technology* (2nd Edition, Revised & Expanded), New York : Marcel Dekker.

Sutrisno, 2011. *Analisis Bagian Kritis Pada Pembuatan Sistem Insulasi Termal Motor Roket Lapan:*

Prosiding SIPTEKGAN XV, Hal 258-269.

Sutton, G.P and Biblarz, Oscar, 2001. *Rocket Propulsion Elements*, 7th Edition, New York : John Wiley & Sons.

