

EVALUASI KINERJA *INSULINER* BERBASIS EPOKSI MELALUI UJI STATIK MOTOR ROKET *CASE BONDED* (PERFORMANCE EVALUATION OF EPOXY BASED *INSULINER* OF *CASE BONDED* ROCKET MOTOR THROUGH STATIC TEST)

Sutrisno*), Fathur Rohman**), Ronny Irianto AH*), Wiwiek Utami Dewi**)

*) Peneliti Pusat Teknologi Roket, LAPAN

**) Perekayasa Pusat Teknologi Roket, LAPAN

e-mail: strn.tyb@gmail.com

ABSTRACT

The insuliner composition and its application on the case bonded rocket motor had been obtained from previous research. It was also recommended that the insuliner can be used for case bonded rocket motor using radial burning propellant. Two unit case bonded rocket motor using epoxy based insuliner and one unit of free standing rocket motor using thermal insulation of epoxy based and fiber glass cloth layer had been prepared to test insuliner performance. Three rocket motors were tested. It is found that the insuliner of case bonded rocket motor can work well. The failure of the second rocket motor was caused by faulty assembling process.

Key words: *Insuliner, Rocket motor, Case bonded, Free standing, Radial burning*

ABSTRAK

Kegiatan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya telah diperoleh material *insuliner* berbasis epoksi dan metode aplikasinya pada motor roket *case bonded*. Hasil penelitian ini juga telah diperoleh bahwa *insuliner* tersebut dapat direkomendasikan untuk digunakan pada motor roket *case bonded* yang menggunakan propelan *radial burning* sehingga perlu dibuktikan. Guna menguji kinerja *insuliner* tersebut telah dibuat dua unit motor roket *case bonded* menggunakan *insuliner* berbasis epoksi dan satu unit motor roket *free standing* yang menggunakan insulasi termal berbasis epoksi dan lapisan *fiber glass cloth* untuk diuji statik. Tiga unit motor roket telah diuji statik. Berdasarkan pengujian diperoleh bahwa *insuliner* berbasis epoksi yang dibuat dapat berfungsi dengan baik. Kegagalan motor roket *case bonded* yang kedua tidak disebabkan oleh gagalnya *insuliner* tetapi oleh proses perakitan motor roket yang kurang sempurna.

Kata kunci: *Insuliner, Motor roket, Case bonded, Free standing, Radial burning*

1 PENDAHULUAN

Motor roket yang menggunakan propelan padat banyak diproduksi di dunia untuk berbagai keperluan baik untuk roket sonda, alat pertahanan hingga kendaraan ruang angkasa. Ada dua metode dalam menempatkan propelan di dalam tabung motor roket yaitu *cartridge loaded* dan *case bonded*. Pada cara yang pertama, propelan dicetak secara terpisah menggunakan cetakan propelan. Propelan yang

dihasilkan diberi lapisan insulasi termal dan baru dimasukkan ke dalam tabung motor roket dan dapat dilepas kembali jika roket tidak atau belum digunakan. Penempatan propelan di dalam ruang bakar dibantu dengan sistem pemegang berupa per atau pengganjal. Metode ini dikenal juga dengan motor roket *free-standing*. Tipe yang kedua (*case bonded*), propelan langsung dicetak ke dalam tabung motor roket yang sebelumnya telah diberi insulasi termal terlebih

dahulu sehingga propelan tersebut terikat secara permanen di dalamnya (Sutton et al., 2001). Pada umumnya motor roket padat dibuat menggunakan propelan *case bonded* terutama untuk memproduksi roket secara masal atau berukuran besar. Dengan metode *case bonded* pembuatan motor roket akan lebih efisien dan efektif. Sementara itu ditinjau dari tipe pembakaran propelannya maka motor roket dibedakan ke dalam dua tipe yaitu *radial burning* dan *end burning*. Pada tipe pertama propelan terbakar dari ruang pembakaran bagian dalam menuju dinding tabung motor roket. Adapun pada tipe kedua pembakaran berawal dari bagian belakang propelan (dekat nosel) menuju bagian depan. Motor roket dengan tipe *end burning* akan memerlukan insulasi termal yang lebih baik dibandingkan dengan tipe *radial burning* karena dinding ruang bakar akan terpapar panas lebih lama. Material insulasi termal pada motor roket harus mampu melindungi dinding ruang bakar akibat temperatur nyala propelan yang dapat mencapai 3800 K dan laju erosi akibat partikulat di dalam gas yang berkecepatan tinggi (Jenson, et al, 1996).

Secara umum sistem insulasi termal pada motor roket padat terdiri dari tiga bagian yaitu *liner*, *thermal protector (insulator)* dan *inhibitor* (Davenas, 1993). *Liner* berfungsi untuk merekatkan propelan dengan *insulator* atau dinding tabung motor roket. *Insulator* berfungsi untuk menahan panas dari pembakaran propelan agar tidak merusak tabung motor roket. Adapun *inhibitor* berfungsi untuk menutupi bagian permukaan propelan yang tidak boleh terbakar bersamaan sehingga berjalannya pembakaran propelan sesuai dengan yang direncanakan. Material insulasi termal pada roket padat harus memiliki beberapa persyaratan yaitu (Bhuvanewari, et al, 2006):

- Mampu merekatkan propelan dengan insulator maupun dinding tabung motor roket,

- Laju ablasi rendah,
- Konduktifitas termal rendah,
- Kapasitas panas yang tinggi,
- Ringan,
- Mampu menahan beban mekanik dan termal selama penyimpanan, *handling* dan operasi pematangan propelan.

Penggunaan material *Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM)* sebagai insulator pada motor roket *case bonded* telah dikaji oleh para peneliti sejak puluhan tahun yang lalu dan diperoleh hasil yang layak untuk diaplikasikan. Agar material insulator EPDM dapat merekat dengan propelan perlu ditambah lapisan liner. Umumnya material liner yang digunakan pada motor roket *case bonded* menggunakan matrik yang sesuai dengan matrik propelannya. Kondisi ini akan memunculkan masalah berupa terjadinya difusi material dari propelan menuju insulator sehingga dapat mengurangi daya rekat liner dan bisa menyebabkan kegagalan motor roket. Untuk mengatasi hal ini maka antara insulator dengan propelan perlu dibuat lapisan penghalang (*barrier*) antara insulator dengan liner (Giants, 1991). Guna meningkatkan daya rekatnya telah dikembangkan liner HTPB-TDI dengan *filler* Sb_2O_3 dan *carbon black* (Navale, et al, 2004). Berbagai liner jenis CTPB, HTPB-IPDI dengan *filler carbon black*, semen dan asbestos juga telah diteliti terhadap berbagai jenis propelan dimana kekuatan rekatnya meningkat jika diaplikasikan pada propelan yang mengandung jumlah padatan (*solid content*) makin rendah (Rodic, 2007). Di sisi lain insulasi termal juga telah dibuat dengan menggabungkan fungsi insulator dan liner dan dikenal dengan nama *insuliner*. Sistem insulasi termal ini menggunakan elastomer, *vulcanizing agent*, *filler* silika, besi oksida, titanium dioksida dan carbon serta *bond promotor* epoksi yang dicampur jadi satu (Rogowski, et al, 1990). Adapun motor roket yang dikembangkan LAPAN selama ini bukan tipe *case bonded* maupun *free standing* tetapi merupakan perpaduan dari

keduanya dimana propelan dicetak secara terpisah, dipotong sesuai ukuran yang dikehendaki dan dilapis dengan protektor termal *fiber cloth*. Propelan yang telah dilapisi tersebut dimasukkan ke dalam tabung motor roket dan celah antara propelan dengan tabung diisi dengan material liner epoksi. Oleh karena itu penelitian motor roket *case bonded* di LAPAN pertama kali dimulai dengan menggunakan material insulasi termal yang masih berbasis epoksi. Komposisi material *insuliner* yang dimaksudkan untuk motor roket *case bonded* telah diperoleh menggunakan binder epoksi-polisulfida dengan *filler* bubuk *Carbon Black* (8 phr), SiO_2 (8 phr), ZnO (2 phr) dan Al_2O_3 (2 phr) (Dewi, 2011). Pelapisan *insuliner* berbasis epoksi tersebut pada tabung motor roket *case bonded* telah berhasil dilakukan dengan metode *spinning* selama 4 jam (Rohman, 2011). Selanjutnya karakteristik material *insuliner* yang dikembangkan telah diuji karakteristiknya untuk dianalisis dan dapat direkomendasikan untuk dapat digunakan pada motor roket *case bonded* tipe pembakaran propelan *radial burning* (Sutrisno, 2012). Kinerja *insuliner* tersebut perlu dibuktikan melalui pengujian pada motor roket secara nyata. Tulisan ini akan mengevaluasi kinerja material *insuliner* berbasis epoksi yang diaplikasikan pada motor roket *case bonded* melalui pengujian statik.

2 METODOLOGI

Untuk mengetahui kinerja material *insuliner* dilakukan dengan menguji statik motor roket *case bonded*. Hasil uji ablasi digunakan sebagai dasar penentuan ketebalan *insuliner*. Tebal *insuliner* ditentukan berdasarkan rumus seperti pada persamaan 2-1 (Sutton et al, 2001).

$$d = r_a \cdot t_b \cdot f \quad (2-1)$$

Keterangan:

d : tebal *insuliner*

r_a : laju ablasi

t_b : waktu bakar dan

f : faktor pengaman yang besarnya 1-2.

Motor roket yang menggunakan propelan *free standing* juga dibuat dengan material insulasi termal berupa lapisan *fiber glass cloth* dan liner epoksi-polisulfida tanpa *filler*. Propelan yang digunakan pada kedua jenis motor roket tersebut mempunyai komposisi yang sama. Selain itu dimensi dan disain propulsi kedua motor roket tersebut juga sama agar menghasilkan gaya dorong dan tekanan pembakaran yang sama. Kedua jenis motor roket ini mempunyai diameter 120 mm dan panjang propelan 400 mm. Motor roket dengan disain propulsi dan dimensi seperti tersebut di atas pernah beberapa kali dibuat dan berhasil diuji statik maupun uji terbang pada roket RKX 100 LAPAN tanpa kegagalan dengan waktu bakar kurang lebih 2,5 detik (Tim Rekeyasa, 2005).

Dua unit motor roket *case bonded* diuji statik dimana salah satunya menggunakan sensor berupa *load cell* dan *pressure transducer*. Uji statik motor roket pertama dilakukan untuk mengetahui kemampuan kinerjanya berdasarkan pengamatan visual. Motor roket yang telah diuji statik ini dipotong melintang untuk diamati kondisi *insuliner*-nya. Adapun uji statik motor roket *case bonded* kedua dilakukan dengan memasang sensor sehingga dapat diketahui profil gaya dorong dan tekanan ruang bakar terhadap waktu selama pembakaran propelan. Selanjutnya motor roket yang menggunakan propelan *free standing* juga diuji statik menggunakan sensor untuk digunakan sebagai pembanding. Data hasil uji statik berupa gaya dorong dan tekanan ruang bakar terhadap waktu serta data rekaman kamera video maupun data fisik motor roket sebelum dan setelah mengalami uji statik digunakan untuk bahan analisis dan evaluasi kinerja *insuliner*.

3 PERCOBAAN

3.1 Pengujian Material *Insuliner*

a. Uji laju ablasi

Sebelum digunakan pada motor roket material *insuliner* telah diuji untuk mengetahui laju ablasinya. Pengujian dilakukan menggunakan motor roket berdiameter 60 mm dengan panjang propelan 15 cm dengan konfigurasi bintang 8. Gambar 3-1 memperlihatkan motor roket dan sampel *insuliner* bekas pengujian laju ablasi. Motor roket ini terdiri dari tiga bagian yaitu bagian depan, tengah dan belakang masing-masing berisi propelan, sampel *insuliner* dan nosel. Sampel *insuliner* dicetak berbentuk tabung dengan ketebalan 5 mm. Setelah pengujian tebal sampel diukur. Perbedaan tebal maksimum *insuliner* sebelum dan setelah mengalami pembakaran motor roket dihitung sebagai laju ablasi. Berdasarkan pengujian diperoleh besarnya laju ablasi sebesar 0,4 mm/detik.

b. Uji konduktifitas termal

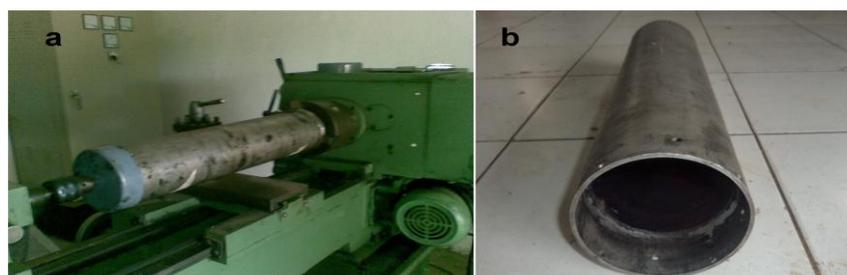
Lima unit sampel *insuliner* berbentuk balok dengan ketebalan 2 cm, panjang dan lebar masing-masing 12 cm dan 4 cm diukur konduktifitas termalnya menggunakan konduktometer QTM 500. Berdasarkan pengukuran rata-rata diperoleh besarnya konduktifitas termal *insuliner* sebesar 0,26 W/mK.

3.2 Pembuatan Motor Roket

Motor roket berdiameter 115 mm dengan panjang propelan 400 mm dibuat meliputi pembuatan struktur (tabung, cap dan nosel), sistem insulasi termal, pengisian propelan, dan perakitan. Jika waktu bakar ditentukan sebesar 2,5 detik dan faktor pengaman sebesar 2 maka berdasarkan persamaan 2-1 dan hasil uji ablasi maka tebal *insuliner* adalah 2 mm. Material *insuliner* sebanyak 300 gram dibuat menggunakan matriks epoksi: hardener: polisulfida = 1:2:1 (perbandingan berat) dan *filler* sebanyak 20 phr berupa *Carbon black* (8 phr), SiO₂ (8 phr), Al₂O₃ (2 phr) dan ZnO (2 phr). Campuran matriks *insuliner* diaduk dan *filler* ditambahkan selama pengadukan. Untuk mendapatkan ketebalan yang dikehendaki (2-3 mm), sebanyak 200 gram material *insuliner* yang telah dibuat dimasukkan ke dalam tabung motor roket dan didistribusikan sepanjang posisi batas. Tabung motor roket yang telah berisi *slurry insuliner* ditempatkan pada mesin pemutar dengan posisi horisontal dan dilakukan pemutaran (*spinning*). Berdasarkan pengukuran diperoleh bahwa tebal *insuliner* adalah 2,75 mm. Gambar 3-2 memperlihatkan proses pembuatan *insuliner* dan hasilnya.



Gambar 3-1: Motor roket dan sampel *insuliner* hasil uji ablasi



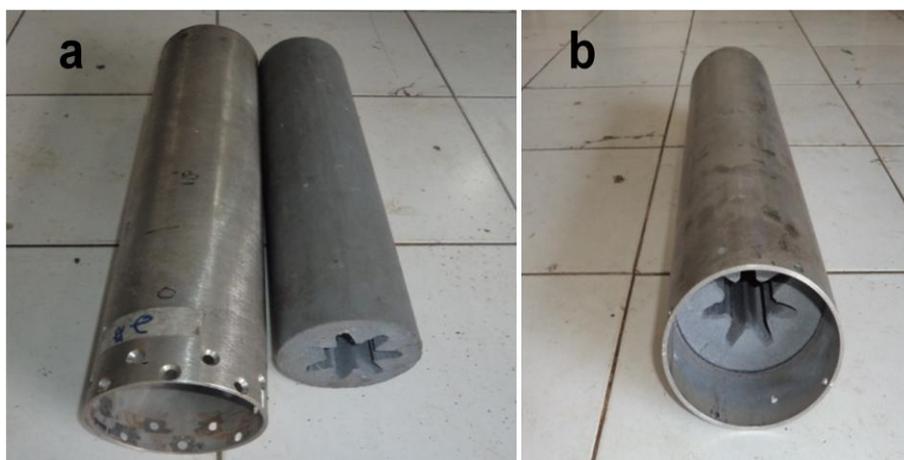
Gambar 3-2: Proses pembuatan *insuliner* motor roket *case bonded* (a) dan hasilnya (b)

Proses pembuatan propelan dilakukan dimulai dengan preparasi bahan baku dan penyiapan alat *casting*. Bahan baku propelan diaduk di dalam *mixer* vertikal 100 liter dengan urutan dan lama pencampuran (*mixing*) sesuai dengan prosedur baku di Lapan. Hasil *mixing* dimasukkan ke dalam tabung motor roket yang telah diberi *insuliner* di dalam *casting chamber* dengan bantuan kondisi *vacum*. Adapun pembuatan motor roket yang menggunakan propelan *free standing* dilakukan meliputi pembuatan struktur, pencetakan propelan secara terpisah, pemotongan dan pelapisan propelan dengan protektor termal (*fiber glass cloth*), pemasukan propelan ke dalam tabung dan pengecoran liner serta diakhiri dengan perakitan cap dan nosel. Propelan pada motor roket *free standing* dan *case bonded* yang dibuat ditunjukkan pada Gambar 3-3. Posisi

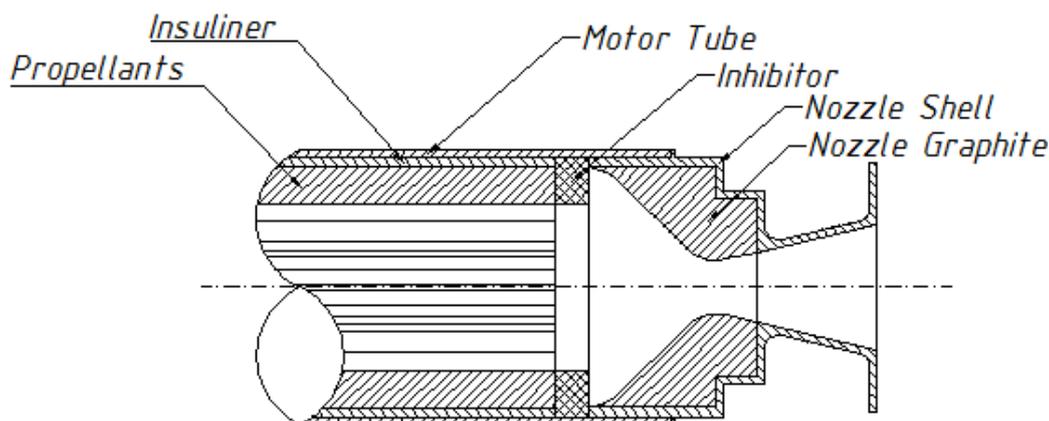
propelan, *insuliner*, inhibitor, tabung motor roket dan nosel pada perakitan motor roket *case bonded* diperlihatkan pada Gambar 3-4.

3.3 Uji Statik Motor Roket

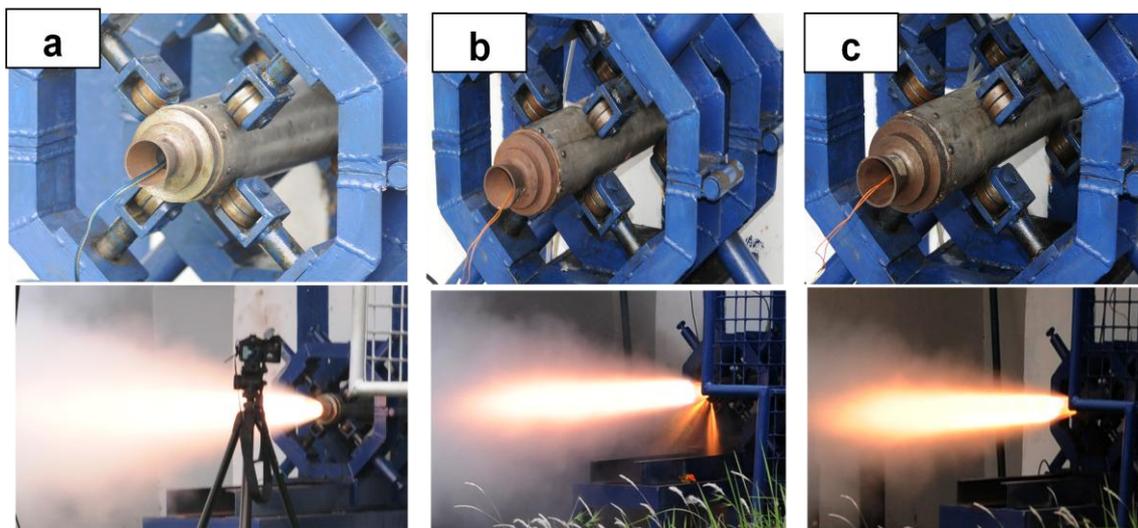
Tiga unit motor roket (2 unit menggunakan propelan *case bonded* dan 1 unit propelan *free standing*) diuji statik di atas *test bed*. Uji statik pertama dilakukan pada tanggal 18 Januari 2013 terhadap motor roket yang menggunakan propelan *case bonded* dimana tidak dilengkapi sensor. Uji statik kedua dan ketiga dilakukan pada tanggal 8 Mei 2013 terhadap motor roket yang menggunakan propelan *case bonded* maupun *free standing* dan dilengkapi dengan sensor *load cell* dan *pressure transducer*. Gambar 3-5 memperlihatkan uji statik ketiga motor roket tersebut.



Gambar 3-3: Propelan pada motor roket *free standing* (a) dan *case bonded* (b)



Gambar 3-4: Posisi bagian-bagian motor roket *case bonded*



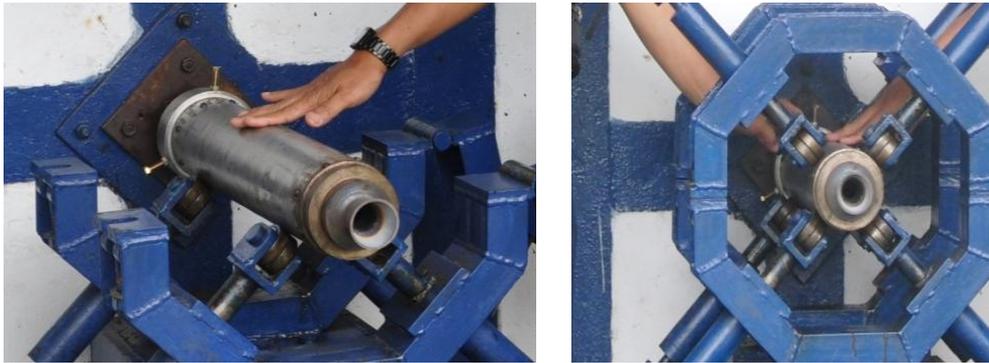
Gambar 3-5: Uji statik motor roket pertama (a), kedua (b) dan ketiga (c)

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji statik terhadap motor roket *case bonded* pertama dilakukan tanpa menggunakan sensor. Hal ini dimaksudkan hanya untuk mengetahui apakah motor roket dapat berfungsi dengan baik dan tidak perlu menimbulkan kerusakan sensor jika mengalami kegagalan (meledak). Data hasil pengujian yang diperoleh hanya berdasarkan pengamatan visual (foto dan video). Pada uji statik pertama ini motor roket dapat bekerja dengan baik dimana secara visual pembakaran berjalan normal dan berlangsung kurang lebih selama 2,5 detik. Permukaan luar dinding tabung motor roket tidak mengalami peningkatan temperatur yang berarti. Kondisi ini dibuktikan dengan dinginnya permukaan tabung sesaat setelah uji statik dimana motor roket dapat dipegang dengan tangan pada kurang lebih 2 menit setelah pengujian seperti ditunjukkan pada Gambar 4-1. Hasil uji ablasi material *insuliner* diperoleh sebesar 0,4 mm/detik. Harga ini lebih tinggi dari persyaratan material insulasi termal motor roket pada umumnya yang berkisar antara 0,09-0,2 mm/detik (Bhuvanewari et al., 2006). Selanjutnya berdasarkan pengamatan dan pengukuran tebal *insuliner* setelah motor roket dipotong melintang terlihat bahwa bagian *insuliner* tersebut secara merata relatif utuh.

Fakta ini logis karena propelan yang digunakan adalah tipe *radial burning*. Berdasarkan pengukuran tebal *insuliner* adalah 2,75 mm (tebal sebelumnya adalah 3 mm) yang berarti hanya berkurang 0,25 mm seperti diperlihatkan pada Gambar 4-2. Hal ini menunjukkan bahwa *insuliner* yang dibuat berfungsi dengan baik.

Berdasarkan keberhasilan pada uji statik pertama ini maka dilakukan pengujian motor roket *case bonded* yang kedua dimana telah dilengkapi dengan sensor *load cell* dan *pressure transducer*. Gaya dorong dan tekanan ruang bakar yang ditimbulkan selama proses pembakaran motor roket akan dapat diketahui dengan sensor tersebut. Pada pengujian ini mula-mula motor roket bekerja dengan baik tetapi di bagian akhir pembakarannya terjadi kebocoran pada tabung motor roket dimana muncul api yang keluar melalui dinding tabung motor roket di bagian dekat nosel seperti terlihat pada Gambar 3-4b. Berdasarkan pengamatan terhadap motor roket setelah diuji statik terlihat bahwa bagian dinding tabung di dekat nosel menjadi lumer dan robek akibat panas pembakaran seperti ditunjukkan pada Gambar 4-3. Adapun data hasil pengujian yang berupa gaya dorong (F) dan tekanan (P) terhadap waktu (t) diperlihatkan pada Gambar 4-5.



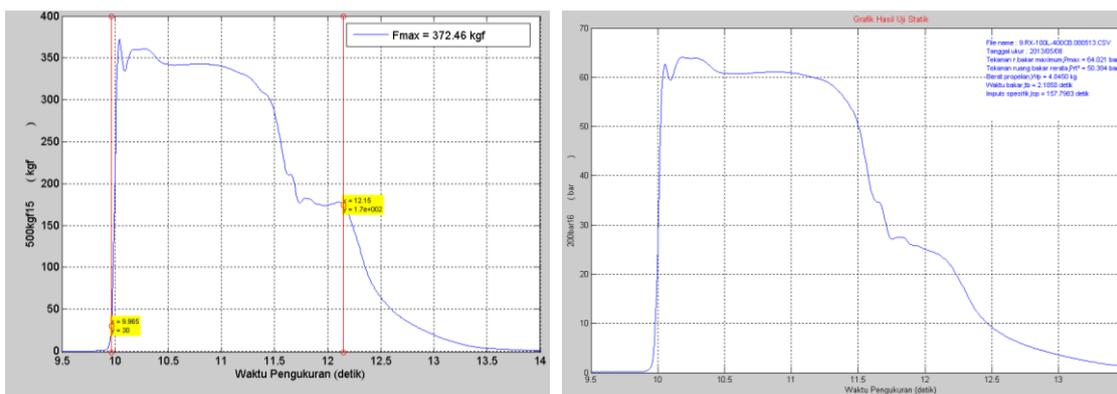
Gambar 4-1: Permukaan dinding tabung motor roket dapat dipegang setelah pengujian



Gambar 4-2: Kondisi insuliner setelah pengujian motor roket case bonded



Gambar 4-3: Tabung motor roket lumer dan robek di bagian ujung



Gambar 4-5: Data uji statik motor roket case bonded: F-t (kiri) dan P-t (kanan)

Berdasarkan data rekaman video maka dapat diketahui bahwa waktu pembakaran motor roket *case bonded* yang kedua ini sebelum mengalami kebocoran hanya selisih sangat kecil (kurang dari setengah detik) dibanding motor roket pertama. Hal ini berarti bahwa kebocoran motor roket terjadi di bagian akhir pembakaran propelan. Untuk mengevaluasi kinerja *insuliner* pada motor roket *case bonded* ini telah dilakukan uji statik ketiga dimana pengujian dilakukan terhadap motor roket yang mempunyai dimensi dan desain propulsi yang sama tetapi menggunakan propelan *free standing*. Uji statik motor roket *free standing* ini dimaksudkan sebagai pembandingan terhadap motor roket *case bonded* yang dibuat. Berdasarkan rekaman kamera video terlihat bahwa motor roket ini dapat bekerja dengan baik dengan lama pembakaran kurang lebih 2,5 detik mirip dengan motor roket yang pertama seperti diperlihatkan pada Gambar 3-3c). Adapun data gaya dorong dan tekanan ruang bakar selama pembakaran motor roket ini diperlihatkan pada Gambar 4-6.

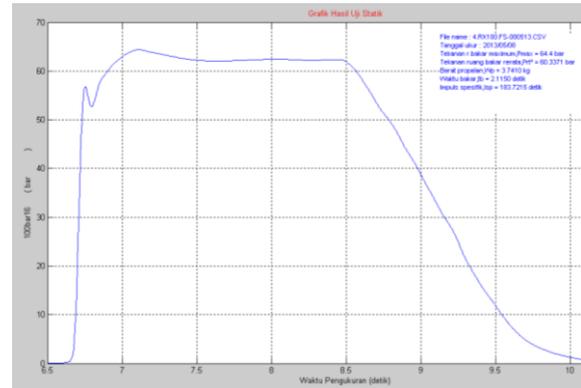
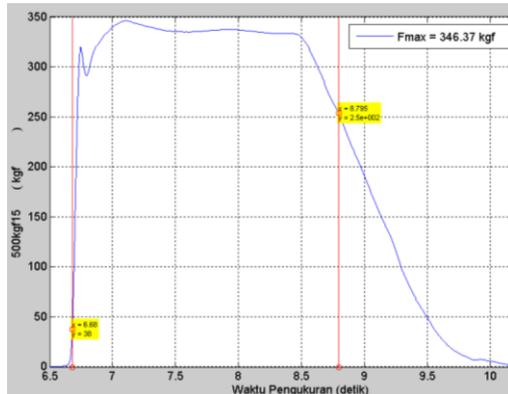
Pada pengamatan visual terhadap motor roket yang berhasil sempurna ketika pengujian terlihat bahwa pembakaran kedua jenis motor roket mempunyai waktu pembakaran yang sama yaitu kurang lebih 2,5 detik. Namun jika diamati menggunakan sensor ternyata pembakaran motor roket yang menggunakan propelan *free standing* hanya berlangsung 2,1 detik sedangkan motor roket *case bonded* berlangsung 2,2 detik. Pada uji statik motor roket *case bonded* diperoleh gaya dorong sebesar 340 kgf dan tekanan 62 bar selama 1,6 detik selanjutnya kedua besaran tersebut turun menjadi masing-masing 175 kgf dan 25 bar hingga detik ke 2,3. Turunnya kedua besaran tersebut diakibatkan karena setelah 1,6 detik pembakaran terjadi kebocoran tabung motor roket dimana sebagian nyala api keluar tidak melalui nosel sehingga gaya dorong dan tekanan berkurang (lihat Gambar 3-3b). Adapun

pada uji statik motor roket yang menggunakan propelan *free standing* maka besarnya gaya dorong dan tekanan ruang bakar diperoleh relatif konstan sebesar 340 kgf dan 62 bar selama 2,1 detik. Data hasil uji ketiga motor roket motor roket ditunjukkan pada Tabel 4-1.

Ditinjau dari lamanya waktu pembakaran mestinya motor roket *case bonded* lebih lama dari pada yang *free standing* karena tebal insulasinya lebih kecil yang berarti propelannya lebih tebal. Propelan *free standing* mempunyai diameter 101 mm sedangkan diameter bagian dalam tabung adalah 108 mm yang berarti tebal insulasi termal adalah 3,5 mm. Berdasarkan pengukuran diperoleh bahwa tebal web propelan *free standing* adalah 17 mm. Hal ini berarti bahwa laju pembakaran propelan di dalam motor roket adalah 17 mm/2,1 detik atau 8,09 mm/detik (pada tekanan 62 bar). Pada propelan *case bonded* tebal *insuliner* 3 mm yang berarti motor roket ini mempunyai jumlah propelan lebih banyak dimana diameter luar propelan menjadi 105 mm atau tebal web-nya menjadi 19 mm. Laju pembakaran propelan adalah berkurangnya panjang propelan ke arah mundur tegak lurus bidang permukaan bakar propelan per satuan waktu (Sutton et al, 2001). Dengan kata lain laju pembakaran propelan di dalam ruang bakar sama dengan tebal web propelan (cm) dibagi dengan waktu pembakaran (detik). Berdasarkan perhitungan maka apabila motor roket *case bonded* tidak mengalami kegagalan maka waktu pembakarannya akan berlangsung selama (19 mm /8,09 mm/detik) atau 2,34 detik yang berarti 0,24 detik lebih lama dibanding motor roket *free standing*. Data gaya dorong maupun tekanan ruang bakar terhadap waktu dari hasil uji statik pada Gambar 4-5 dan Gambar 4-6 memperlihatkan bahwa kedua besaran tersebut hampir sama. Tekanan pembakaraan kedua motor roket tersebut sama besar sehingga waktu pembakaran motor roket *case bonded* harusnya sedikit lebih lama

dibanding *free standing* karena diameter propelannya lebih besar. Selain itu turunnya tekanan pembakaran akibat

kerusakan dinding tabung motor roket akan dapat mengurangi laju pembakaran propelan (Sutton, et al, 2001).



Gambar 4-6: Data uji statik motor roket *free standing*: F-t (kiri) dan P-t (kanan)

Tabel 4-1: DATA HASIL UJI STATIK MOTOR ROKET

No.	Motor Roket	Gaya Dorong rerata (kgf)	Tekanan Pembakaran rerata (kg/cm ²)	Waktu Pembakaran (detik)	Keterangan
1.	<i>Case bonded 1</i>	-	-		Motor roket menyala normal tetapi tidak dilengkapi sensor
2.	<i>Case bonded 2</i>	340	62	1,6	Motor roket bocor dimana setelah 1,6 detik gaya dorong dan tekanan turun masing-masing menjadi 175 kgf dan 25 kg/cm ² hingga 2,3 detik
3.	<i>Free standing</i>	340	62	2,1	Motor roket menyala normal

Berdasarkan pengujian di atas dapat dikatakan bahwa kinerja *insuliner* motor roket *case bonded* yang dibuat dapat dikatakan cukup baik. Hal ini dibuktikan dengan berhasilnya pengujian statik motor roket *case bonded* yang pertama bahkan yang kedua. Terjadinya kerusakan dinding tabung motor roket *case bonded* yang kedua bukan diakibatkan oleh gagalnya *insuliner*. Hal ini dapat dijelaskan seperti uraian berikut ini. Jika diamati bagian yang mengalami kerusakan (lihat Gambar 4-3) maka dapat dikatakan bahwa bagian yang mengalami kerusakan adalah dinding tabung pada posisi antara inhibitor dengan ujung nosel dan bukan

pada posisi *insuliner*. Posisi bagian-bagian motor roket *case bonded* seperti ditunjukkan pada Gambar 3-4. Hal ini berarti bahwa bagian antara inhibitor dengan nosel terdapat celah yang dapat ditembus oleh api pembakaran propelan. Berdasarkan data pada Gambar 4-5 terlihat bahwa jebolnya dinding tabung terjadi setelah 1,6 detik yang ditandai dengan turunnya tekanan ruang bakar. Motor roket ini didisain menggunakan pembakarannya dimulai dari bagian dalam permukaan propelan menuju dinding tabung setelah melewati lapisan *insuliner*. Sementara itu propelan tergolong material isolator karena

berbasis *rubber* polibutadien. Oleh karena itu temperatur dinding tabung motor roket ini akan tetap terlindungi dari kenaikan yang drastis setelah mengalami pembakaran propelan dan telah terbukti seperti ditunjukkan pada Gambar 4-1. Material tabung motor roket ini terbuat dari *stainless steel* setebal 3,5 mm. Jebolnya dinding tabung pada motor roket yang terjadi setelah 1,6 detik pembakaran menunjukkan bahwa bagian tersebut terpapar panas sejak dari awal pembakaran yang berarti memang terdapat celah antara inhibitor dengan nosel. Selain itu berdasarkan informasi dari personil tim perakitan di Lab Perakitan Motor Roket-Pusat Teknologi Roket yang diperoleh penulis setelah pengujian statik motor roket ternyata proses perakitan berjalan kurang sempurna dimana tebal inhibitor telah dikurangi dengan cara dikerok. Proses pengerokan ini dilakukan untuk memperoleh kemudahan pemasangan nosel. Hal ini tidak dilaporkan sebelum dilakukan pengujian. Hasil perakitan dengan cara tersebut diduga kuat menimbulkan celah antara inhibitor dengan nosel dan menyebabkan kegagalan motor roket.

5 KESIMPULAN

Motor roket *case bonded* berdiameter 115 mm dengan panjang propelan 400 mm telah dibuat menggunakan *insuliner* berbasis epoksi. *Insuliner* pada motor roket *case bonded* dibuat dari matriks epoksi-polisulfid dengan menambahkan *filler carbon black* (8 phr), SiO_2 (8 phr), Al_2O_3 (2 phr) dan ZnO (2 phr) sedangkan insulasi termal untuk motor roket *free standing* terdiri dari matriks epoksi-polisulfid dengan lapisan *fiber glass cloth*. Tebal *insuliner* pada motor roket *case bonded* adalah 3 mm yang berarti lebih tipis dari pada insulasi termal motor roket *free standing* yang tebalnya 3,5 mm. Berdasarkan hasil uji statik diperoleh bahwa *insuliner* motor roket *case bonded* telah dapat berfungsi dengan baik. Kegagalan motor

roket *case bonded* pada uji statik kedua tidak disebabkan oleh gagalnya *insuliner* tetapi akibat proses perakitan motor roket yang kurang sempurna.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kami sampaikan kepada para personil Lab Liner/Inhibitor dan Lab Teknologi Proses Propelan serta Lab Perakitan Motor Roket-Pusat Teknologi Roket yang telah membantu mewujudkan motor roket untuk kegiatan penelitian ini. Selain itu terimakasih juga kami sampaikan kepada para personil Lab Uji Statik di Bidang Teknologi Motor Roket atas terlaksananya pengujian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Bhuvaneswari, C.M, Sureshkhumar, M.S, Kakade, S.D and Gupta, Manoj, 2006. *Ethylene-Propylene Diene Rubber as a Futuristic Elastomer For Insulation of Solid Rocket Motors*, Review paper, Defence Science Journal, Vol. 56, No. 3 © 2006 DECIDOC.
- Davenas, Alain, 1993. *Solid Rocket Propulsion Technology*, 1st edition, Pergamon Press, Oxford.
- Dewi, Wiwiek U, 2011. *Penentuan Komposisi Kombinasi Filler Carbon Black, SiO_2 , Al_2O_3 dan ZnO Sebagai Material Liner Case bonded*, Seminar Nasional IPTEK Dirgantara XV, Serpong.
- Giants, T. W, 1991. *Case Bond Liner System For Solid Rocket Motors*, Aerospace Report No.TR-0090 (5935-02)-1 for Space Systems Division-Air Force Systems Command, The Aerospace Corporation, California.
- Jenson, Gordon E and Netzer, David W, 1996. *Tactical Missile Propulsion*, Volume 170, progress in Astronautics and Aeronautics, AIAA, Massachusetts.
- Navale, S. B., Siraman, S., Wani, V.S., Manohar, M. V and Kakade, S. D., 2004. *Effect of Additives on Liner Properties of Case-Bonded*

- Composite Propellants, High Energy Materials Research Laboratory, Pune-411 021, Defence Science Journal, Vol. 54, No. 3. DESIDOC.*
- Rodic, Vesna, 2007. *Case-Bonded System for Composite Propellant*, Scientific Technical Review, Vol. LVII, No.3-4, UDK 621.454-66. 678.073/074, COSATI :21-09,11-10.
- Rogowski, Gregory S; Davidson,Thomas F and Ludlow Timothy, 1990. *Insulating Liner for Solid Rocket Motor Containing Vulcanizable elastomer and Bond Promotor which is a novolac Epoxy or Resole Treated Celluloce*, US Patent No. 4,956,397.
- Rohman, Fathur, 2011. *Aplikasi Liner Dengan Metode Lining Sentrifugal Pada Motor Roket case bonded*, Seminar Nasional IPTEK Dirgantara XV, Serpong.
- Sutrisno, 2011. *Pembuatan dan Analisis Kinerja Sistem Thermal Insulation pada Motor Roket Yang Menggunakan Propelan Case bonded*, Jurnal Teknologi Dirgantara, Vol.9. NO. 2.
- Sutton, P George and Biblarz, Oscar, 2001. *Rocket Propulsion Elements*, 7th edition, John Wiley & Son, New York.
- Tim Rekayasa, 2005. *Dokumentasi Uji Terbang Roket RKX 100*, Pusat Teknologi Wahana Dirgantara-LAPAN.

