

# **EVALUASI KINERJA SAMBUNGAN PROPELAN PADA MOTOR ROKET RX 550 [EVALUATION OF THE PROPELLANT JOINT PERFORMANCE IN ROCKET MOTOR RX 550]**

**Sutrisno**

Peneliti Pusat Teknologi Roket, Lapan  
e-mail: strn.tyb@gmail.com

## **ABSTRACT**

The propellant joints quality of RX 550 rocket motor using segmented HTPB propellant was become a debatable. In static test this rocket motor exploded and the nozzle was broken out at seven second after ignition. To evaluate these propellant joints the propellant installation in rocket motor was discussed. The propellant joint strength was tested using Tensilon UTM III-100 test equipment. The rocket motor tube at the propellant joint position were marked and investigated before and after static test. The datas such as thrust and chamber pressure versus time were analyzed for finding the possibility of joints defect. Based on analysis it is found that the propellant joint can work well. The RX 550 rocket motor failure in static test didn't caused by propellant joints.

Key words: *Propellant, Propellant joint, Static test*

## **ABSTRAK**

Kualitas sambungan propelan pada motor roket RX 550 yang menggunakan propelan HTPB dengan delapan sambungan telah menjadi perdebatan. Pada pengujian statik motor roket ini meledak dan nosel terlepas pada detik ketujuh setelah pembakaran propelan. Guna mengevaluasi kinerja sambungan propelan maka proses pengisian propelan ke dalam motor roket dibahas. Selanjutnya kekuatan sambungan propelan diuji menggunakan alat uji Tensilon UTM III-100. Bagian tabung motor roket dimana posisi sambungan propelan berada ditandai untuk diamati sebelum dan sesudah pengujian. Data gaya dorong atau tekanan terhadap waktu dianalisis untuk melihat kemungkinan adanya cacat sambungan. Berdasarkan analisis diperoleh bahwa sambungan propelan bekerja dengan baik dan bukan sebagai penyebab kegagalan motor roket RX 550.

Kata kunci: *Propelan, Sambungan propelan, Uji statik*

## **1 PENDAHULUAN**

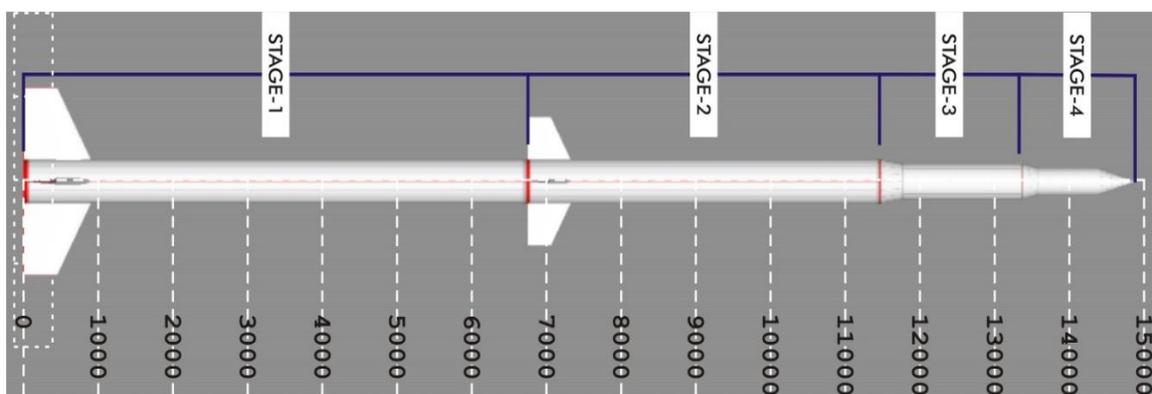
Roket Pengorbit Satelit (RPS) yang dirancang oleh LAPAN merupakan roket bertingkat empat yang menggunakan motor roket berdiameter 550 mm (tingkat pertama dan kedua), 420 mm (tingkat ketiga) dan 320 mm (tingkat keempat). Dua jenis motor roket untuk tingkat ketiga dan keempat (RX 420 dan

RX 320) telah berhasil diuji terbang sedangkan dua tingkat yang pertama (RX 550) masih dalam taraf rancang bangun. Penguasaan teknologi untuk roket RX 550 menjadi tonggak paling penting dalam program rancang bangun RPS. Rancangan Roket Pengorbit Satelit (RPS) seperti ditunjukkan pada Gambar 1-1. Selain itu roket RX 550 dapat

dikembangkan untuk keperluan lain, misalnya alat pertahanan, yang dapat mempunyai jangkauan lebih dari 300 km. Oleh karena itu penguasaan teknologi motor roket RX 550 penting untuk dilakukan. Motor roket RX 550 telah dirancang menggunakan propelan HTPB berdiameter 530 mm sepanjang 5500 mm yang disambung-sambung menggunakan delapan sambungan. Motor roket RX 550 merupakan motor roket terbesar yang dibuat LAPAN hingga saat ini. Dengan makin besarnya diameter roket maka permasalahan yang dihadapi dalam manufaktur juga makin besar. Motor roket RX 550 mulai dirancang bangun sejak tahun 2010 dan telah diuji statik untuk pertama kali pada tanggal 25 Oktober 2011. Motor roket ini mengalami kegagalan dalam pengujian tersebut dimana nosel putus dan terpental keluar.

Sebelum dilakukan pengujian, semua komponen motor roket yang terdiri dari tabung, cap, nosel dan propelan telah diuji radiografi (*x-ray*) dan dinyatakan lolos uji sebelum akhirnya dirakit. Selanjutnya setelah selesai dirakit, motor roket ini juga masih diuji secara radiografi (menggunakan *x-ray*) sebelum dilakukan uji statik. Salah satu target dari uji radiografi ini adalah untuk mengetahui kualitas sambungan propelan. Hasil pengujian *x-ray* terhadap sambungan propelan telah menimbulkan perdebatan pada interpretasi data dimana di satu pihak menyatakan bahwa terdapat sambungan yang tidak menyatu (menim-

bulkan celah) di pihak lain menyatakan bahwa sambungan tersebut tidak bermasalah. Apabila pada sambungan propelan tersebut terdapat celah atau ropelan tidak menyatu maka akan menimbulkan bahaya dimana roket bisa meledak. Guna memperjelas keadaan sambungan propelan pada motor roket tersebut telah dibuat simulasi dengan membuat sampel berbagai keadaan sambungan propelan untuk diuji *x-ray*. Hasil pengujian terhadap sampel tersebut juga masih menimbulkan ketidakjelasan. Ketidakjelasan interpretasi data ini disinyalir karena alat uji radiografi yang digunakan mempunyai kemampuan tembus yang kurang khususnya untuk roket yang sudah terintegrasi dan berdiameter besar. Selain itu data hasil pengujian dengan peralatan radiografi yang digunakan terhadap motor roket yang sudah terintegrasi lebih sulit diinterpretasi daripada pengujian terhadap komponen-komponennya. Berdasarkan hal ini maka diputuskan bahwa uji statik RX 550 tersebut tetap dilakukan dengan mempersiapkan keadaan bahaya. Pada pengujian statik motor roket ini meledak dimana bagian nosel terlepas setelah berlangsung pembakaran propelan selama kurang lebih 7 detik. Tulisan ini akan menganalisis dan mengevaluasi kinerja sambungan propelan pada motor roket RX 550 tersebut untuk menjawab permasalahan kualitas sambungan propelan yang telah diperdebatkan.



Gambar 1-1: Roket RPS –Lapan (Sumber: Tim Rekayasa-Pustekwagan)

## 2 METODOLOGI

Guna mengetahui kinerja dari sambungan propelan pada motor roket RX 550 dilakukan dengan metode seperti berikut ini. Proses perakitan propelan ke dalam motor roket dibahas yang meliputi pemotongan dan penyambungan propelan, pelapisan propelan dengan protektor termal, pemasukan propelan ke dalam tabung motor roket dan pengisian material insulator/liner. Posisi di bagian luar tabung motor roket dimana terdapat sambungan propelan ditandai untuk diamati sebelum dan sesudah dilakukan uji statik. Sampel propelan baik yang menggunakan maupun tanpa sambungan dibuat dan diuji tarik menggunakan mesin Tensilon UTM III-100. Data hasil uji kuat tarik spesimen sampel propelan digunakan untuk mengevaluasi kekuatan sambungan propelan di dalam motor roket. Berdasarkan hasil uji statik, data gaya dorong atau tekanan ruang bakar motor roket dari awal pembakaran hingga meledak digunakan untuk melengkapi analisis kinerja sambungan propelan.

## 3 DATA

### 3.1 Proses Pengisian Propelan ke Dalam Motor Roket

Pada dasarnya proses pengisian propelan ke dalam motor roket padat dilakukan dengan dua cara yaitu *cartridge loaded* dan *case-bonded*. Pada cara yang pertama propelan dicetak secara terpisah dan dilapisi dengan lapisan insulator termal. Propelan ini dapat disimpan secara terpisah dan baru dimasukkan ke dalam tabung motor roket jika akan segera digunakan bahkan dapat dikeluarkan lagi jika tidak jadi diluncurkan. Pada cara yang kedua (*case-bonded*), propelan dicetak langsung secara permanen ke dalam tabung motor roket yang terlebih dulu sudah dilapisi insulator termal. Adapun proses pengisian propelan pada RX 550 dilakukan dengan cara yang berbeda dari kedua cara tersebut atau dapat dikatakan sebagai perpaduan

dari keduanya dimana propelan dicetak secara terpisah. Propelan tersebut selanjutnya dimasukkan ke dalam tabung motor roket dan direkatkan dengan pengecoran material insulator/liner sehingga terpasang secara permanen.

Pembuatan propelan pada motor roket RX 550 ini dilakukan dengan proses *casting* di dalam suatu cetakan yang menghasilkan propelan sepanjang 850 mm untuk sekali cetak. Guna mendapatkan propelan RX 550 dengan panjang 5500 mm dilakukan dengan memotong dan menyambungkan beberapa propelan. Kerataan permukaan propelan yang akan disambung harus dipastikan menggunakan alat bantu *water level* agar semua permukaan propelan menutup satu sama lain. Penyambungan propelan dilakukan secara vertikal menggunakan *epoxy adhesive* dan sealant. Gambar 3-1a memperlihatkan proses penyambungan propelan untuk motor roket RX 550. Propelan yang sudah disambung-sambung ini selanjutnya dilapisi dengan protektor termal. Untuk memasukkan propelan ke dalam tabung motor roket dilakukan dengan mengangkat propelan ke atas tabung dan diturunkan secara perlahan hingga propelan berada di posisinya. Guna menambah kekuatan sambungan propelan telah diperkuat dengan dua lapis *fiber carbon cloth* dan satu lapis *fiber glass cloth* menggunakan *epoxy adhesive* seperti diperlihatkan pada Gambar 3-1b.

Propelan sepanjang 5500 mm ini akhirnya diperoleh setelah menyambungkan sembilan segmen propelan dengan delapan sambungan dan telah diperkuat dengan lapisan protektor termal. Proses pemasukan propelan dilakukan secara vertikal. Tabung motor roket ditempatkan di atas meja penopang propelan. Selanjutnya propelan diangkat dan dimasukkan dari bagian atas tabung secara vertikal dimana bagian propelan di posisi nosel berada di atas seperti terlihat pada Gambar 3-2. Secara keseluruhan propelan yang digunakan di dalam motor roket RX 550 ini memiliki

panjang 5500 mm seberat 1600 kg dengan delapan sambungan seperti ditunjukkan pada Gambar 3-3. Pada gambar tersebut

ditunjukkan posisi sambungan propelan pada motor roket dan titik pengujian x-ray.



a

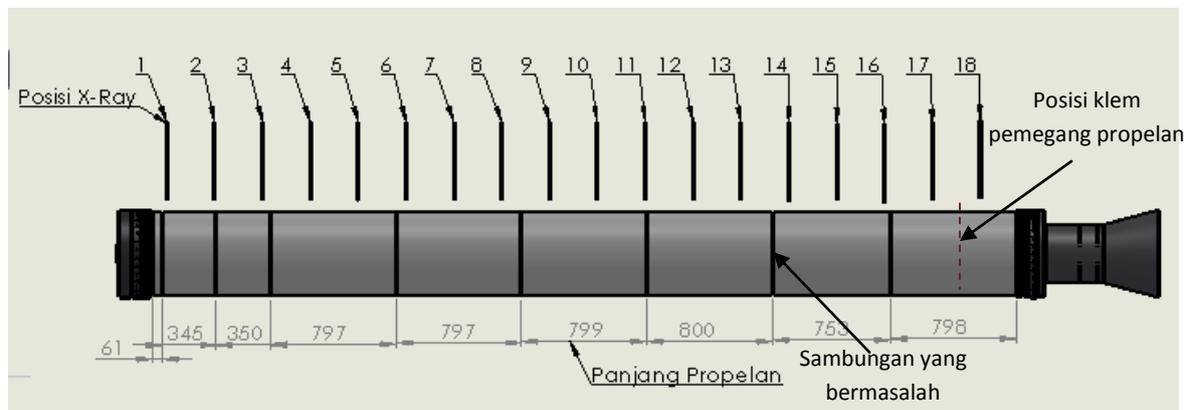


b

Gambar 3-1: Proses penyambungan propelan (a) dan pelapisan fiber cloth (b)



Gambar 3-2: Proses pengangkatan dan pemasukan propelan ke dalam tabung motor roket



Gambar 3-3: Posisi sambungan propelan pada motor roket RX 550

### 3.2 Luas Permuakaan Sambungan Propelan

Propelan motor roket RX 550 mempunyai konfigurasi bintang 8 dengan diameter 530 mm, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-4a. Adapun dimensi mandrel pembentuk konfigurasi bintang pada propelan ditunjukkan pada Gambar 3-4b.

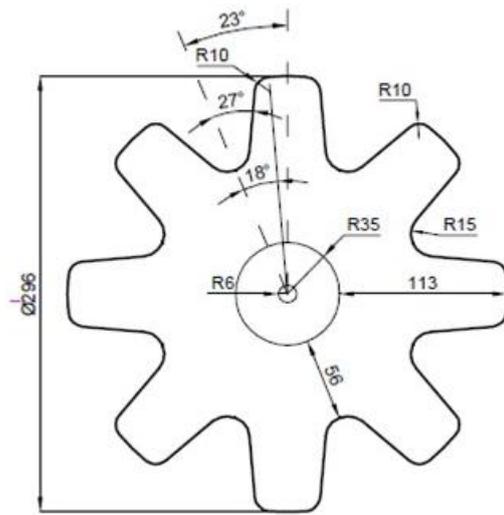
Luas mandrel dihitung dengan membagi setiap bagian ujung bintang menjadi 6 bagian yang berupa bentuk lingkaran, juring, dan trapesium. Luas permukaan propelan adalah luas lingkaran luar dikurangi luas mandrel. Berdasarkan dimensinya maka diperoleh luas permukaan propelan yang akan disambungkan adalah 1.725,790 cm<sup>2</sup>.



a

### 3.3 Uji Kuat Tarik Propelan dan Sambungan Propelan

Kuat tarik propelan dan sambungan propelan diuji menggunakan alat uji Tensilon UTM III-100. Sampel uji kuat tarik ditunjukkan pada Gambar 3-5a. Berdasarkan pengujian diperoleh bahwa kuat tarik propelan rata-rata adalah 5,28kg/cm<sup>2</sup>. Harga kuat tarik ini masih dalam rentang harga kuat tarik propelan HTPB pada umumnya yaitu 75 psi (5,27 kg/cm<sup>2</sup>) atau lebih (NASA, 1971). Adapun besarnya kuat tarik sambungan propelan selalu lebih besar dari propelan-nya sendiri yang ditunjukkan dengan bagian propelan yang putus pada setiap sampel sambungan propelan yang diuji seperti diperlihatkan pada Gambar 3-5b.

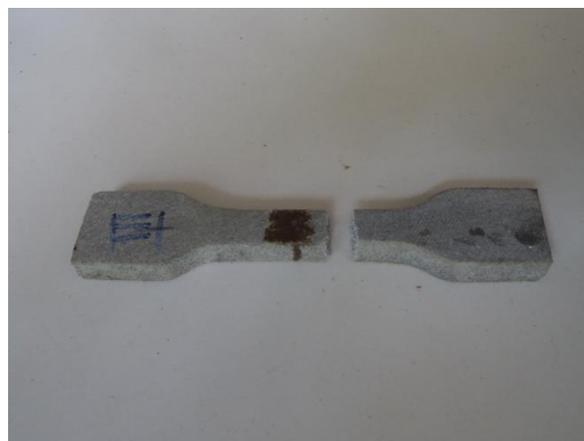


b

Gambar 3-4: Propelan dan dimensi mandrel RX 550



a



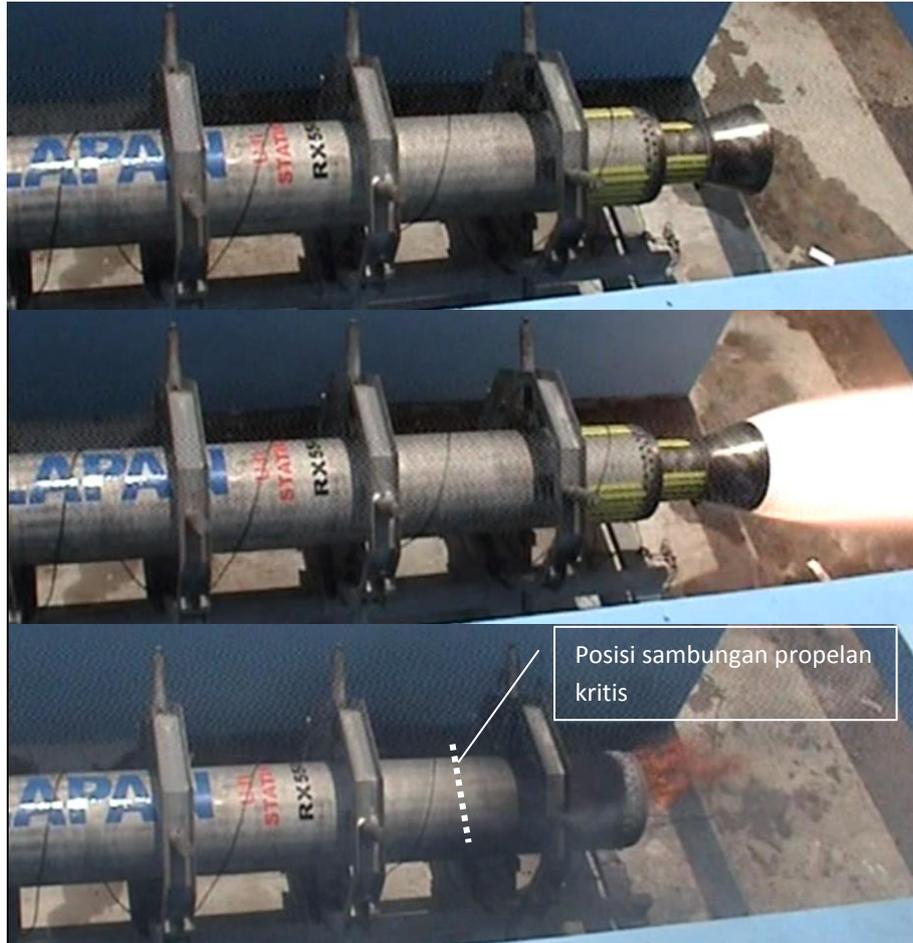
b

Gambar 3-5: Sampel uji kuat tarik (a) dan bagian yang putus pada propelan yang disambungkan (b)

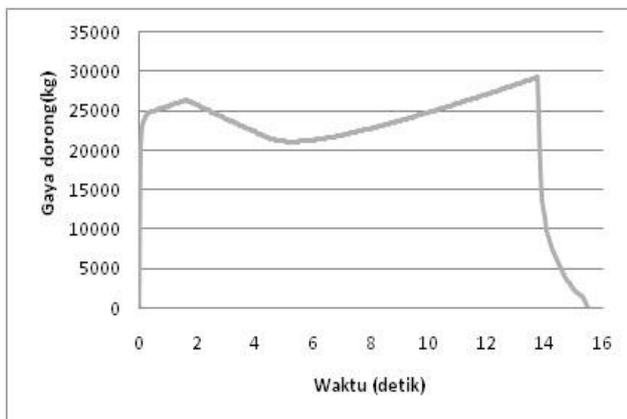
### 3.4 Hasil Uji Statik Motor Roket

Motor roket RX 550 telah diuji statik pada tanggal 25 Oktober 2011. Pada pengujian ini motor roket menyala, setelah 6 detik dari awal pembakaran muncul cincin api di bagian divergen pada nosel dan akhirnya motor roket meledak setelah 7 detik pembakaran

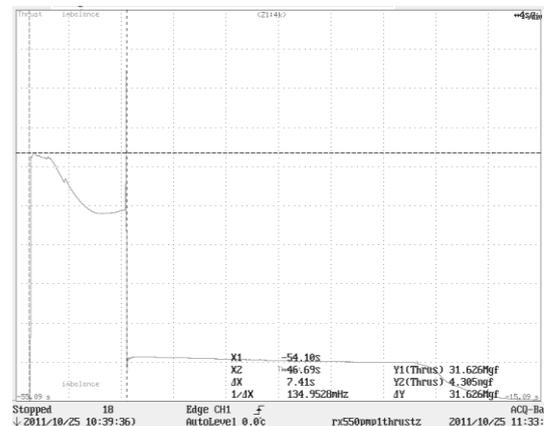
dimana bagian nosel terlepas. Gambar 3-6 memperlihatkan motor roket RX 550 sebelum, selama dan setelah pengujian. Adapun data gaya dorong terhadap waktu berdasarkan simulasi dan hasil uji statik ditunjukkan pada Gambar 3-7 (Tim Rekayasa, 2010).



Gambar 3-6: Kondisi motor roket RX 550 sebelum, selama dan setelah uji statik



a



b

Gambar 3-7: Gaya dorong terhadap waktu berdasarkan simulasi (a) dan uji statik RX 550 (b)

#### 4 PEMBAHASAN

Proses pengangkatan propelan untuk dimasukkan ke dalam tabung motor roket dilakukan setelah diperkuat dengan lapisan protektor termal dimana propelan dipegang dengan suatu klem di posisi segmen propelan paling atas (dekat nosel). Berdasarkan hal ini maka posisi sambungan paling atas merupakan bagian paling kritis karena akan mendapatkan beban gaya paling besar yaitu sebesar berat tujuh segmen propelan di bawahnya. Pada pengujian kuat tarik pada propelan yang disambung untuk berbagai macam propelan LAPAN yang pernah dilakukan selalu memperlihatkan posisi putus di bagian propelan (Sutrisno dan Hudoro, 2001). Selanjutnya berdasarkan hasil pengujian dengan uji tarik terhadap sampel propelan RX 550 yang disambung diperoleh bahwa kekuatan sambungan tersebut lebih besar dari pada propelannya sendiri dimana titik putus terjadi di bagian propelan (lihat Gambar 3-5b). Kuat tarik propelan RX 550 setelah diuji adalah rata-rata sebesar  $5,28 \text{ kg/cm}^2$ . Berdasarkan data berat propelan dan posisi sambungan (Gambar 3-3) maka sambungan paling atas tersebut akan dikenai gaya berat propelan sebesar 1370 kg. Kuat tarik propelan berdasarkan pengujian adalah  $5,28 \text{ kg/cm}^2$ . Sementara itu luas permukaan kontak antar propelan yang disambungkan adalah  $1725,790 \text{ cm}^2$ . Dengan data ini bagian sambungan propelan yang paling kritis akan dikenai gaya tarik sebesar  $1370 \text{ kg}/1725,79 \text{ cm}^2$  atau  $0,794 \text{ kg/cm}^2$  yang berarti masih jauh lebih kecil dari kekuatan propelan. Hal ini berarti proses pengangkatan propelan dengan cara di atas adalah aman dan tidak merusakkan sambungan propelan. Seperti telah dikemukakan di atas bahwa proses pengangkatan propelan yang tersambung ini dilakukan setelah penambahan lapisan protektor termal berupa *fiber carbon cloth* dan *fiber glass cloth* menggunakan *epoxy adhesive*. Berdasarkan data sifat mekanik dari sistem *epoxy-fiber glass cloth* dan *epoxy-fiber carbon cloth* diperoleh bahwa kuat

tarik maksimum sistem komposit tersebut berkisar antara 44 hingga  $60 \text{ kg/cm}^2$  ([www.performance-composites.com](http://www.performance-composites.com)). Oleh karena itu faktor keamanan saat mengangkat propelan pada proses pemasukan propelan ke dalam motor roket RX 550 ini akan jauh meningkat lagi karena adanya penambahan lapisan sistem komposit *epoxy-fiber glass cloth* dan *epoxy-fiber carbon cloth* ini.

Seperti telah disampaikan di atas bahwa walaupun terdapat sambungan yang masih diperdebatkan sebagai dampak dari hasil uji *x ray*, akhirnya motor roket RX 550 tetap diuji statik dengan mempersiapkan keadaan bahaya selama pengujian. Guna mengetahui kemungkinan gagal yang diakibatkan oleh adanya cacat sambungan propelan maka posisi dinding tabung motor roket dimana terdapat sambungan propelan ditandai. Keadaan tabung motor roket di posisi tersebut diamati sebelum dan sesudah pengujian. Apabila sambungan tersebut terdapat celah atau koyak maka dinding tabung di bagian tersebut akan tertembus gas panas dan memperoleh efek termal yang lebih banyak dibanding bagian lain. Dalam hal ini jika terdapat efek termal berlebih yang mengenai tabung akan dapat terlihat dan dapat dibedakan dengan bagian lain karena akan terjadi perbedaan warna maupun kondisi fisik. Akhirnya uji statik motor roket RX 550 telah dilakukan. Pembakaran motor roket sempat berlangsung normal selama 7 detik dari 14 detik yang direncanakan. Pada detik keenam di bagian divergen nosel muncul cincin api yang makin lama makin nampak jelas dan akhirnya setelah 7 detik propelan terbakar motor roket meledak dimana nosel terpental keluar. Selanjutnya pembakaran propelan tetap berlanjut tanpa nosel. Motor roket ini menggunakan propelan dengan tipe pembakaran radial dimana pembakaran bermula dari permukaan bagian dalam propelan merambat ke arah luar menuju dinding tabung motor roket. Propelan, protektor termal dan *epoxy* adalah tergolong sebagai material isolator.

Dengan mekanisme pembakaran seperti ini apabila motor roket bekerja sesuai dengan disain maka tabung motor roket hanya akan terkena panas berlebih ketika propelan habis terbakar. Pada saat seperti ini ruang bakar sudah tidak memiliki tekanan yang besar sehingga tabung motor roket tidak pecah. Gambar 3-6 memperlihatkan kondisi motor roket sebelum, selama dan setelah pengujian. Berdasarkan pengamatan pada titik titik posisi sambungan propelan terutama pada sambungan paling kritis tidak diketemukan adanya gejala efek termal yang berlebih dibandingkan titik-titik yang lain karena tidak terdapat perbedaan warna di sekitar daerah tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat celah atau sambungan yang koyak yang dapat ditembus oleh gas panas pembakaran propelan.

Dari Gambar 3-7 terlihat bahwa sebelum nosel terlepas (kurun waktu 7 detik selama pembakaran motor roket) gaya dorong yang dihasilkan dari uji statik mempunyai profil yang mirip dengan hasil simulasi. Hasil uji statik menunjukkan bahwa mula-mula gaya dorong tinggi sekitar 31.000 kg/cm<sup>2</sup> namun akhirnya turun menjadi sekitar 24.500 kg/cm<sup>2</sup>. Besarnya gaya dorong ini juga menunjukkan kemiripan dengan hasil simulasi yaitu rata-rata 25.000 kg/cm<sup>2</sup>. Adapun gejala gagalnya sambungan propelan juga tidak terlihat dari profil gaya dorong yang dihasilkan. Hal ini dapat dijelaskan pada uraian berikut ini. Pembakaran propelan di dalam ruang bakar akan menghasilkan gas panas dengan tekanan tertentu. Tekanan ini akan segera diekspansikan keluar melalui nosel sehingga menghasilkan gaya dorong sesuai dengan persamaan 4-1 dan 4-2 (Davenas, 1993).

$$P_c = \frac{\rho \cdot S \cdot r}{C_d \cdot A_t} \quad (4-1)$$

Keterangan:

$P_c$  : tekanan ruang bakar,  
 $\rho$  : kerapatan propelan,  
 $S$  : luas permukaan pembakaran,

$r$  : laju pembakaran propelan,  
 $C_d$  : koefisien pengeluaran propelan  
 (*propellant discharge coefficient*).

$$F = C_f \cdot P_c \cdot A_t \quad (4-2)$$

Keterangan:

$F$  : gaya dorong,  
 $C_f$  : koefisien gaya dorong dan  
 $A_t$  : luas kerongkongan nosel.

Berdasarkan persamaan 4-1 dan persamaan 4-2 di atas, apabila terjadi sambungan propelan yang tidak rapat atau koyak maka luas permukaan pembakaran propelan akan lebih besar dari yang direncanakan. Bertambahnya luas permukaan pembakaran ini berarti akan menambah material propelan yang dibakar sehingga jumlah gas yang dihasilkan juga bertambah. Hal ini berarti akan meningkatkan tekanan ruang bakar yang juga berakibat meningkatnya gaya dorong. Di sisi lain meningkatnya tekanan ruang bakar akan menyebabkan bertambahnya laju pembakaran propelan. Secara empiris hubungan antara laju pembakaran ( $r$ ) terhadap tekanan ruang bakar ( $P_c$ ) ini dinyatakan dalam persamaan 4-3 (Sutton and Biblarz, 2001).

$$r = a \cdot (P_c)^n \quad (4-3)$$

Keterangan:

$a$  : konstanta empiris (koefisien pembakaran) dan  
 $n$  : eksponen laju pembakaran (indeks pembakaran).

Meningkatnya laju pembakaran propelan sebanding dengan tekanan ruang bakar secara eksponensial. Persamaan 4-1 dengan persamaan 4-3 mempunyai hubungan yang timbal balik antara tekanan ruang bakar dan laju pembakaran propelan dimana masing-masing akan saling meningkatkan apabila masing-masing bertambah besar. Hal ini berarti dampak terjadinya pertambahan luas permukaan akibat adanya cacat sambungan propelan pada RX 550 akan menyebabkan meningkatnya tekanan ruang bakar maupun gaya dorong secara

drastis. Dilihat dari profil gaya dorong yang dihasilkan dari uji statik RX 550 kejadian meningkatnya gaya dorong yang drastis ini tidak terlihat bahkan masih mirip dengan yang direncanakan. Hal ini menunjukkan bahwa tidak terdapat cacat sambungan propelan pada motor roket RX 550 yang diuji statik.

## 5 KESIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Motor roket RX 550 menggunakan propelan sebanyak sembilan segmen dengan delapan sambungan dimana kualitas sambungan tersebut telah menjadi perdebatan.
- Kuat tarik sambungan propelan pada motor roket RX 550 lebih besar dari kuat tarik propelan itu sendiri
- Prosedur pengangkatan propelan pada proses pemasukan propelan ke dalam tabung motor roket RX 550 tidak menyebabkan rusaknya sambungan propelan
- Sambungan propelan pada motor roket RX 550 dapat berfungsi dengan baik dan tidak mengakibatkan gagalnya motor roket RX 550 saat diuji statik.

### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih saya ucapkan kepada bapak Fathur Rohman yang telah membantu membuat gambar untuk meng-

hitung luas permukaan propelan. Selain itu terima kasih juga saya sampaikan kepada Tim Rekayasa-Pusat Teknologi Roket yang telah memberi masukan dan menanggapi tulisan ini.

## DAFTAR RUJUKAN

- Davenas, Alain, 1993. *Solid Rocket Propulsion Technology*, 1<sup>st</sup> edition, Pergamon Press, Oxford.
- <http://www.performance-composites.com>, *Mechanical Properties of Carbon Fibre Composite Materials, Fibre-Epoxy resin*, download Maret 2012.
- NASA, 1971. *Solid Propellant Selection and Characterization*, NASA Space Vehicle Design Criteria Monographs Issued To Date, NASA SP 8064.
- Sutrisno dan Hudoro, 2001. *Pengujian dan Analisis Kekuatan Sambungan Propelan Konfigurasi Silinder pada Roket RX 150-1200 LPN*, Majalah LAPAN, Vol. 3, ISSN 0126-0480, Jakarta.
- Sutton, GP and Biblarz, 2001. *Rocket Propulsion Elements*, Seventh edition, John Wiley & Sons Inc, New York.
- Tim Rekayasa, 2010. *Laporan Kemajuan Program Pengembangan Roket RPS*, Pusat Teknologi Wahana Dirgantara-LAPAN.

