

## **Analisis Penyebab Kegagalan Roket RX 1220 Saat Uji Terbang dan Upaya Perbaikannya**

Oleh :  
Sutrisno \*

### **Abstrak**

*RX 1220 adalah roket hasil pengembangan dari RX 1210 dengan memperpanjang motor roketnya menjadi dua kali. Roket ini mengalami dua kali kegagalan pada saat uji terbang. Tulisan ini menganalisis penyebab kegagalan dan upaya perbaikannya. Analisis kegagalan ditinjau dari aspek kualitas propelan, disain dan kualitas struktur motor roket serta proses pembuatannya. Data saat uji terbang seperti kerusakan bagian roket dan peluncur, video high speed camera, data uji statik motor roket dan proses pembuatannya digunakan sebagai bahan analisis. Berdasarkan analisis diperoleh bahwa kegagalan roket pada uji terbang pertama disebabkan oleh selisih diameter antara roket dengan diameter dalam tabung peluncur yang terlalu longgar. Adapun kegagalan roket yang kedua disebabkan oleh adanya cacat berupa celah pada sambungan propelan. Kegagalan roket telah diatasi dengan menambah cincin komposit pada tabung motor roket dan penggunaan alat bantu penyambung propelan pada proses pembuatan motor roket.*

*Kata kunci: kegagalan roket, uji statik, uji terbang, sambungan propelan*

### **Abstract**

*Rocket RX 1210 have been developed into RX 1220 by lengthening its rocket motor. This rocket failed during flight test. This paper analyze the rocket failure and some efforts to overcome the problems. The analysis have been done based on many aspects of reviews such as propellant quality, structure design and rocket motor fabrication. The failure analysis is conducted using rocket datas during flight test such as rocket and launcher failures, high speed camera video, rocket motor static test and rocket fabrication. Based on analysis it is found that the first rocket failure due to the gap between rocket diameter and the inner diameter of launcher tube that is too loose while the second rocket failure due to the propellant join defect. The rocket failure have been corrected by adding composite rings on the rocket motor tube and using propellant connecting rod in the manufacturing of rocket motor.*

*Key words: rocket failure, static test, flight test, propellant join*

## **1. PENDAHULUAN**

Aplikasi teknologi roket dapat digunakan baik untuk kepentingan sipil maupun militer. Apapun penggunaannya teknologi roket merupakan teknologi yang relatif sulit diperoleh dibandingkan dengan teknologi lain. Tidak semua negara memiliki kemampuan dalam teknologi roket. Negara-negara maju yang telah menguasai teknologi roket lebih dahulu cenderung tertutup bahkan terkesan mempersulit suatu negara yang akan mencoba untuk menguasai teknologi ini. Sejak tahun 2010 roket hasil kegiatan penelitian dan pengembangan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) telah diaplikasikan dan diuji terbang dalam suatu program Roket Konsorsium Nasional. Selain LAPAN teknis pembuatan roket konsorsium ini melibatkan industri nasional seperti PT Pindad, PT DI dan PT KS. Salah satu roket untuk konsorsium yang telah diuji coba adalah RX 1210. Roket ini berdiameter 122 mm dengan panjang 1762 mm dan menggunakan propelan HTPB berukuran panjang 1000 mm pada motor roketnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa roket ini mampu mencapai jarak tembak 14 km hingga 15 km pada sudut elevasi penembakan 50<sup>0</sup>.

Roket 122 mm merupakan roket balistik yang paling banyak diproduksi di dunia dan digunakan sebagai senjata taktis untuk penembakan dari darat ke darat. China telah berhasil mengembangkan roket 122 mm dari roket yang didasarkan pada BM-21 Grad buatan Uni Soviet hingga mampu mencapai jarak tembak 20 hingga 40 km (<http://www.sinodefence.com>). Roket sekelas ini juga telah banyak dikembangkan oleh beberapa negara lain di dunia. Disain motor roket tersebut umumnya menggunakan propelan sepanjang 2000 mm. Oleh karena itu guna meningkatkan jangkauan tembak RX 1210 yang dikembangkan LAPAN saat ini sedang dikembangkan roket RX 1220. Roket ini mempunyai ukuran panjang 2757 mm dan berdiameter sama dengan RX 1210 tetapi

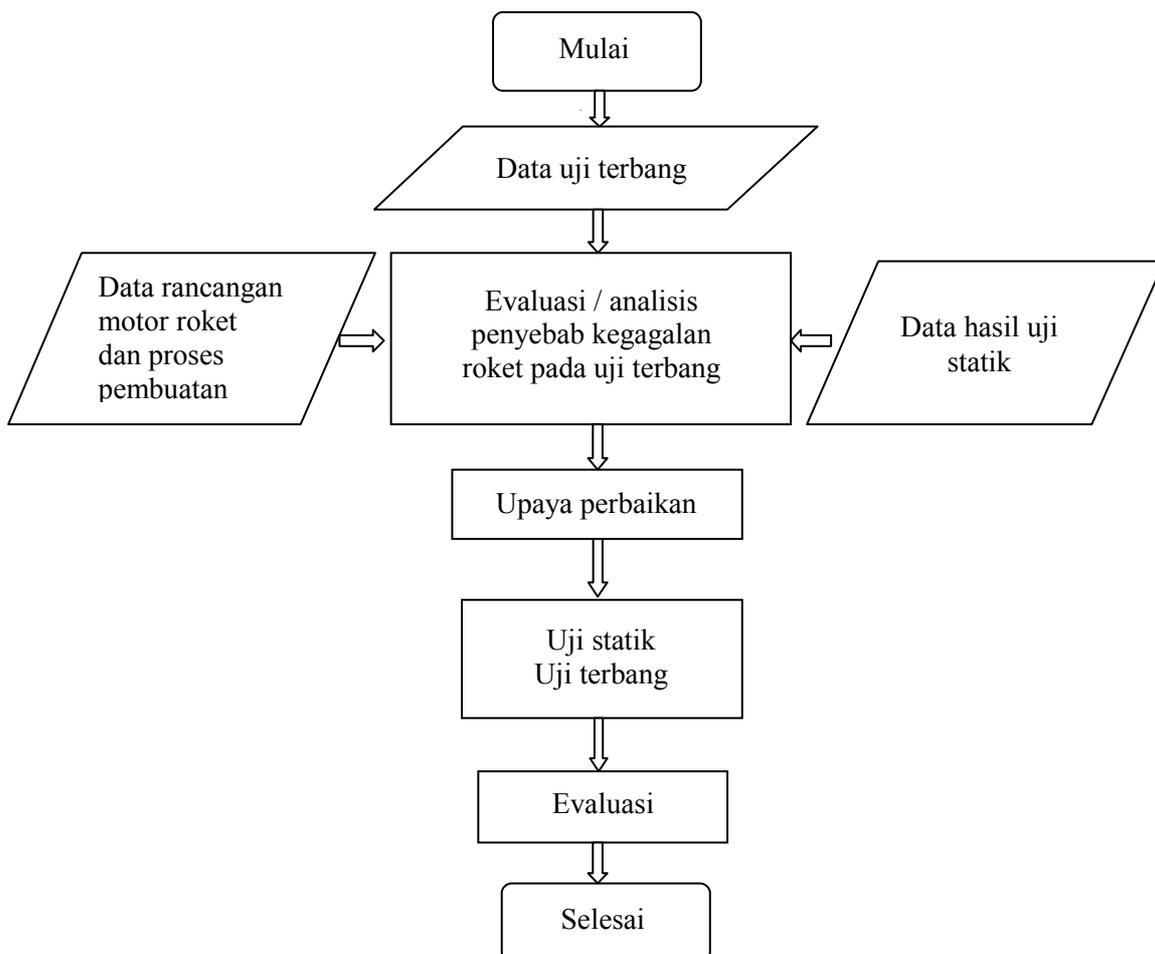
---

\*Peneliti Pusat Teknologi Roket – LAPAN

menggunakan propelan dua kali lebih panjang yaitu 2000 mm. Berdasarkan hasil uji statik terhadap motor roket yang dilakukan maka diperoleh bahwa gaya dorong rata-rata dan waktu pembakaran yang dihasilkan berturut-turut adalah 1000 kgf dan 4,5 detik (Tim Rekayasa, 2012). Pada uji terbang pertama di Baturaja – Sumatera Selatan tanggal 26 Nopember 2011 salah satu roket ini gagal terbang dengan mulus dimana roket jatuh beberapa ratus meter setelah keluar dari peluncur. Pada tanggal 23 April 2012 dua buah roket RX 1220 diuji terbang yang kedua di Pameungpeuk – Jawa Barat. Kedua roket ini diuji terbang dengan membawa instrumen telemetry untuk mengetahui data roket saat terbang seperti jangkauan tembak, perubahan percepatan dan lain-lain. Pada pengujian tersebut salah satu roket meledak di udara setelah beberapa saat lepas dari peluncur. Tulisan ini akan menganalisis penyebab gagalnya roket RX 1220 pada saat uji terbang. Selanjutnya akan dikemukakan pula upaya-upaya yang dilakukan untuk mengatasi kegagalan tersebut melalui perbaikan dan pengujian roket.

## 2. METODOLOGI

Gagalnya roket RX 1220 saat uji terbang dievaluasi untuk memperoleh penyebabnya. Penyebab terjadinya kegagalan roket dapat bersumber pada motor, non motor maupun keduanya. Gagalnya motor roket dapat ditelusuri penyebabnya melalui tiga aspek yaitu ada tidaknya cacat propelan atau struktur motor roket, salah disain dan kurang sempurnanya proses pembuatan. Data kerusakan bagian roket maupun peluncur serta video uji terbang roket menggunakan *high speed camera* dan data pembuatan motor roket dikumpulkan untuk dievaluasi. Analisis data dilakukan berdasarkan ketiga aspek di atas untuk mencari penyebab kegagalan. Berdasarkan hasil evaluasi dilakukan upaya perbaikan terhadap pembuatan roket. Roket hasil perbaikan diuji baik melalui uji statik maupun uji terbang. Hasil pengujian roket setelah perbaikan digunakan sebagai bahan untuk meyakinkan penyebab kegagalan. Alur pikir pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.1.

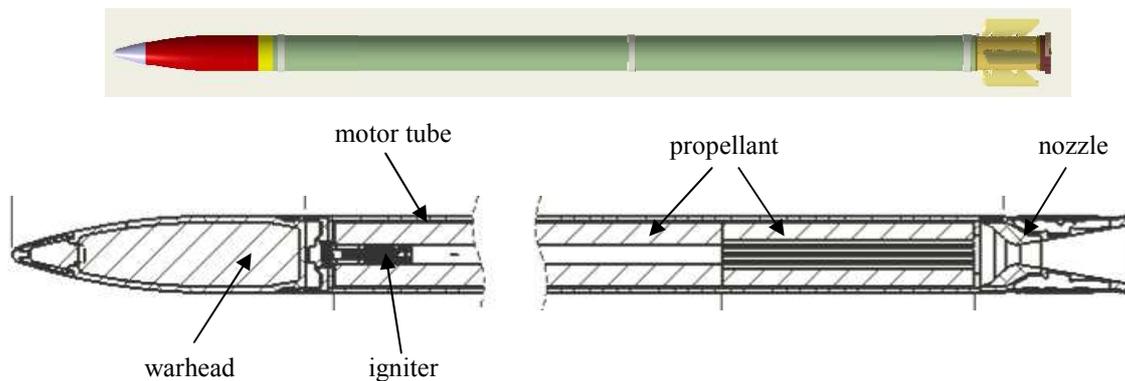


Gambar 2.1. Alur pikir penelitian

### 3. DATA DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Roket RX 1220

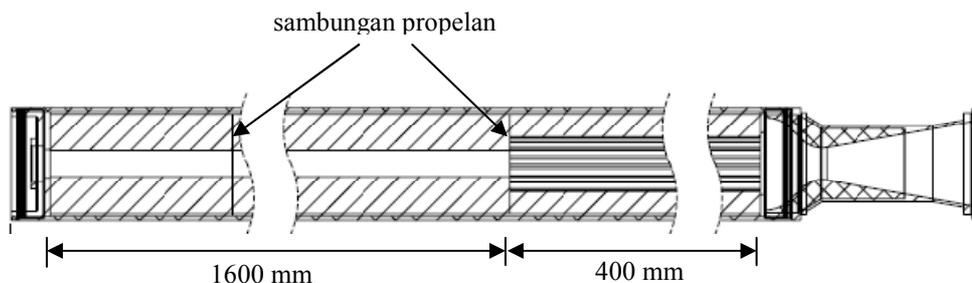
Roket RX 1220 adalah roket yang berdiameter 122 mm menggunakan *folded fin* yang dapat diluncurkan menggunakan peluncur berbentuk tabung. Motor roket ini menggunakan tabung yang terbuat dari material aluminium Al 6061-T6 dan dirancang untuk menggunakan tipe pembakaran radial. Roket ini menggunakan motor roket dengan panjang propelan 2000 mm berkonfigurasi ganda yaitu gabungan antara propelan berkonfigurasi bintang tujuh dengan silinder yang disambungkan. Panjang propelan bintang tujuh dan silinder berturut-turut sebesar 400 mm dan 1600 mm. Berdasarkan perhitungan propulsi maka motor roket ini akan menghasilkan gaya dorong rata-rata sebesar 1216 kgf, tekanan pembakaran 45 kg/cm<sup>2</sup> dan waktu pembakaran 4,5 detik. Roket dan motor roket RX 1220 yang mempunyai kinerja seperti rancangan tersebut diperlihatkan pada Gambar 3.1 (Tim Rekayasa, 2011)



Gambar 3.1. Rancangan Roket RX 1220

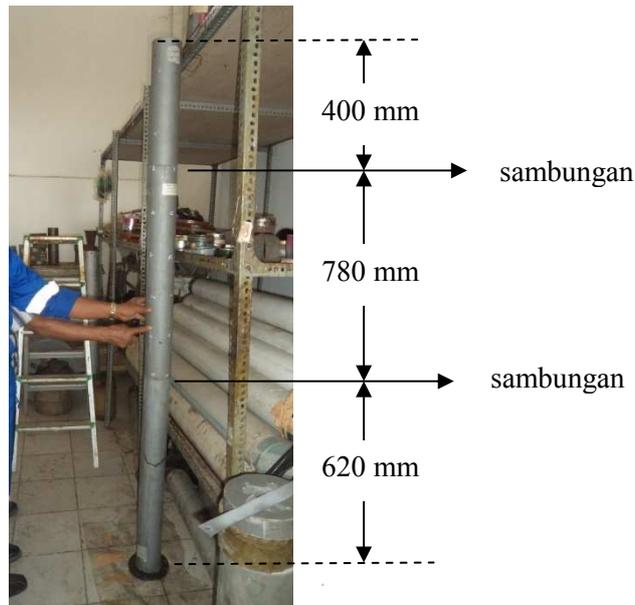
#### 3.2. Perakitan Motor Roket

Propelan yang digunakan pada motor roket ini dibuat menggunakan cetakan propelan sehingga diperoleh batang propelan dengan panjang maksimum 1250 mm dalam sekali cetak. Selanjutnya propelan dengan konfigurasi bintang tujuh sepanjang 400 mm diperoleh dengan cara memotong propelan tersebut. Adapun propelan silinder sepanjang 1600 mm diperoleh dengan cara memotong dan menyambungkan kembali sehingga mencapai ukuran yang dimaksud. Dengan demikian untuk mendapatkan motor roket yang menggunakan propelan berkonfigurasi ganda akan terdapat dua buah sambungan propelan masing-masing pada posisi gabungan antara konfigurasi bintang tujuh dan silinder serta pada bagian silinder seperti diperlihatkan pada Gambar 3.2. Semua propelan yang akan digunakan pada motor roket ini telah mengalami uji x ray untuk mendapatkan propelan yang bebas cacat seperti kekeroposan dan retak. Pengujian serupa juga dilakukan terhadap komponen struktur seperti tabung, cap dan nosel sehingga diperoleh semua komponen motor roket yang lolos uji.



Gambar 3.2 Posisi sambungan propelan pada motor roket RX 1220 (Tim Rekayasa, 2011)

Roket yang meledak pada uji terbang di Pameungpeuk tanggal 23 April 2012 menggunakan tiga segmen propelan berturut-turut dengan panjang 400 mm, 780 mm dan 620 mm. Segmen demi segmen disambungkan dengan cara ditumpuk secara vertikal menggunakan adesif untuk selanjutnya dilapisi dengan fiber carbon cloth dan fiber glass cloth. Propelan yang telah dilapisi didiamkan selama 24 jam. Posisi sambungan propelan seperti ditunjukkan pada Gambar 3.3. Selanjutnya propelan ini dimasukkan ke dalam tabung motor roket yang bagian bawahnya ditempeli dengan inhibitor dan celah antara propelan dengan tabung diisi dengan material insulasi termal/liner dengan kondisi cair untuk dikeringkan 24 jam. Akhirnya tabung motor roket yang sudah terisi propelan ini dirakit dengan cap maupun nosel hingga siap untuk digunakan.



**Gambar 3.3.** Sambungan propelan RX 1220

### 3.3. Pengujian

Motor roket RX 1220 untuk pertama kali diuji statik pada tanggal 27 Juli 2011. Pada pengujian ini motor roket bekerja dengan baik menghasilkan gaya dorong rata-rata 1000 kgf dengan waktu bakar 4,5 detik. Gambar 3.4 memperlihatkan uji statik pertama motor roket RX 1220. Pada pengujian ini tidak diperoleh informasi data tekanan ruang bakar. Hasil uji statik ini ternyata tidak jauh berbeda dengan perancangannya. Dengan demikian motor roket ini telah siap untuk digunakan uji terbang.



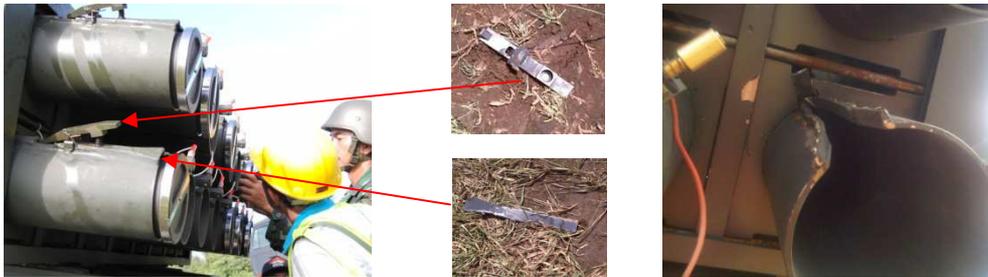
**Gambar 3.4.** Uji statik pertama motor roket RX 1220

Uji terbang RX 1220 pertama kali dilakukan di Baturaja - Sumatera Selatan pada tanggal 26 Nopember 2011 menggunakan peluncur tabung. Dua buah roket diuji terbang dengan penembakan tunggal. Roket pertama berhasil meluncur dengan baik sedangkan roket kedua mengalami kegagalan dimana roket terbang dengan tidak stabil (berputar-putar dengan lintasan spiral dan jatuh kurang lebih 400 meter dari peluncur). Kegagalan roket kedua pada uji terbang pertama ini ditunjukkan pada Gambar 3.5.



**Gambar 3.5.** Kegagalan roket RX 1220 kedua pada uji terbang pertama

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan setelah pengujian terlihat bahwa stoper pada peluncur terlepas dan bagian belakang alur pengarah luncur robek. Selain itu berdasarkan bangkai roket yang diketemukan menunjukkan terdapat bagian nosel dan *fin* yang jebol. Stoper yang terlepas, dan bagian alur pengarah luncur yang robek ditunjukkan pada Gambar 3.6. Adapun bagian nosel dan *fin* yang jebol ditunjukkan pada Gambar 3.7.



**Gambar 3.6.** Stoper yang terlepas dan bagian alur pengarah luncur yang robek



**Gambar 3.7** Bagian nosel dan struktur fin yang jebol

Pada pengujian ini diameter dalam peluncur adalah 127 mm sedangkan diameter luar roket adalah 122 mm. Selisih diameter ini diduga cukup signifikan sebagai penyebab kegagalan dimana setelah penyalaan roket mendapat gaya dorong cukup besar dan bagian belakang roket (nosel dan fin) bergerak mengungkit dan terkunci pada alur pengarah luncur sehingga bagian awal alur ini robek.

Roket RX 1220 telah diperbaiki dengan menambahkan cincin yang dibuat dari material komposit di tiga bagian sepanjang tabung motor roket. Penambahan cincin ini dimaksudkan untuk menyesuaikan diameter roket dengan diameter bagian dalam peluncur sehingga menghasilkan selisih diameter yang sesuai dan *sliding* roket berjalan lancar. Pada dasarnya besarnya selisih diameter ini dibuat seminimal mungkin tetapi roket harus bisa meluncur dengan baik melalui *sliding test*. Adapun diameter cincin yang ditambahkan adalah 125 mm. Gambar 3.8 memperlihatkan cincin komposit yang

ditambahkan pada motor roket. Setelah perbaikan ini uji terbang yang kedua dilakukan pada tanggal 23 April 2012 di Pameungpeuk. Dua buah roket diuji terbang dengan laras tunggal pada elevasi  $50^{\circ}$  dan azimuth  $215^{\circ}$ . Roket pertama berhasil terbang mulus dan berdasarkan data muatan diperoleh bahwa jangkauan roket mencapai 22,5 km. Adapun roket kedua sempat terbang lurus namun pada kurang lebih 2 detik setelah lepas dari peluncur roket terputus menjadi dua bagian. Berdasarkan data kamera terlihat bahwa motor roket terputus menjadi dua bagian. Kedua bagian motor roket yang putus masing-masing masih mengeluarkan api pembakaran dari bagian ujungnya. Kegagalan roket RX 1220 pada uji terbang kedua ini dapat ditunjukkan pada Gambar 3.9.



**Gambar 3.8.** Penambahan cincin komposit pada tabung motor roket



**Gambar 3.9.** Kegagalan roket RX 1220 pada uji terbang kedua

Berdasarkan data accelerometer yang diperoleh pecahnya motor roket ini terjadi pada 2,27 detik setelah lepas dari peluncur (Tim Rekayasa, 2012). Hal ini menunjukkan bahwa roket terpecah sebelum berakhirnya waktu pembakaran propelan. Seperti telah dikemukakan di atas bahwa sebelum motor roket dirakit semua komponen termasuk propelan telah lolos uji radiografi (X ray) tetapi pengujian ini tidak dilakukan setelah perakitan. Sementara itu disain motor roket yang dibuat juga sudah dibuktikan kinerjanya melalui uji statik dengan menghasilkan kinerja yang tidak jauh berbeda. Oleh karena itu tinggal ada satu faktor yang perlu ditinjau ulang untuk mendapatkan penyebab kegagalan. Berdasarkan evaluasi terhadap rekaman video *high speed camera* seperti ditunjukkan pada Gambar 3.9 terlihat bahwa roket telah putus di bagian motornya dimana masing-masing bagian mengeluarkan api yang berarti posisi putusnya tabung motor roket ada di bagian yang berisi propelan. Tabung motor roket yang terbuat dari aluminium 6061-T6 memiliki temperatur leleh maksimum  $652^{\circ}\text{C}$  (Parker, 1967) sedangkan temperatur gas hasil pembakaran propelan dapat mencapai 4000 K (Davenas, 1993). Material tabung tersebut tidak akan mampu menahan panasnya gas hasil pembakaran propelan. Motor roket ini menggunakan propelan tipe pembakaran radial dimana propelan terbakar dari bagian dalam menuju ke arah dinding tabung motor roket. Dengan demikian tabung motor roket akan terlindung dari panas pembakaran propelan selama waktu pembakaran propelan berlangsung. Namun demikian jika pada propelan terdapat cacat seperti terjadinya celah pada sambungan maka panas pembakaran akan menembus dan merusak tabung lewat celah tersebut. Lapisan penahan panas pada roket padat diperlukan agar temperatur yang mengenai tabung motor roket kurang dari  $350^{\circ}\text{C}$  (Sutton, 2001). Sementara itu material isolator yang baik akan mempunyai konduktivitas termal 0,74 W/mK atau kurang (Holman, 1986). Adapun material liner, protektor termal dan propelan HTPB LAPAN mempunyai konduktivitas termal berturut-turut 0,24 W/mK, 0,6 W/mK dan 0,8 W/mK (Sutrisno, 2000) sehingga ketiga material tersebut dapat dikatakan tergolong sebagai isolator. Adanya

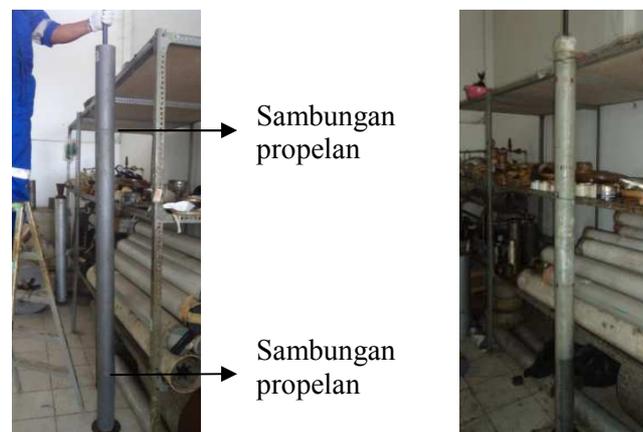
celah pada sambungan propelan ini panas pembakaran propelan tidak langsung melelehkan tabung motor roket tetapi harus menghancurkan lebih dahulu protektor termal dan liner sehingga pada detik ke 2,27 tabung motor roket baru terputus.

Selanjutnya proses penyambungan propelan ini perlu mendapat perhatian untuk dicermati agar tidak menimbulkan celah. Tidak rapatnya sambungan propelan ini mungkin dapat terjadi karena sifat propelan yang lentur sehingga tidak berada di garis lurus ketika disambungkan seperti terlihat pada Gambar 3.3. Ilustrasi terjadinya celah pada sambungan karena sifat lenturnya propelan ini dapat ditunjukkan pada Gambar 3.10. Oleh karena itu perlu diupayakan agar penyambungan propelan benar-benar lurus tanpa menghasilkan celah.



**Gambar 3.10.** Ilustrasi terjadinya celah sambungan dan sifat lenturnya propelan

Upaya penyempurnaan sambungan propelan telah dilakukan dengan pembuatan alat bantu batang penyambung propelan. Pada proses penyambungan ini batang penyambung dimasukkan ke dalam segmen propelan yang akan disambungkan sehingga berada pada posisi lurus. Setelah disambung propelan dilapisi dengan protektor termal dan dimasukkan ke dalam tabung motor roket dan pengisian material liner seperti telah dijelaskan di atas. Penggunaan alat bantu batang penyambung ini diperlihatkan pada Gambar 3.11.



**Gambar 3.11.** Penggunaan batang penyambung pada proses penyambungan propelan

Motor roket yang dibuat melalui upaya perbaikan proses ini akhirnya diuji statik pada tanggal 15 Mei 2012. Berdasarkan pengujian motor roket bekerja dengan baik menghasilkan gaya dorong rata-rata 1000 kgf dan waktu pembakaran 4,3 detik. Guna menambah keyakinan terhadap kehandalan motor roket tersebut telah dibuat dan diuji statik lagi pada tanggal 29 Mei 2012. Hasil pengujian juga menunjukkan kinerja motor roket yang baik dengan menghasilkan gaya dorong rata-rata sebesar 1050 kgf dan waktu pembakaran 4,5 detik. Akhirnya roket RX 1220 yang telah mengalami perbaikan pada proses pembuatan motor roket ini diuji terbang di Pameungpeuk pada tanggal 28 Juni 2012. Roket ini

berhasil terbang mulus sesuai yang direncanakan. Gambar 3.12 memperlihatkan uji terbang roket RX 1220 hasil perbaikan.



**Gambar 3.12.** Uji terbang roket RX 1220 28 Juni 2012

Berdasarkan beberapa hasil pengujian terhadap motor roket RX 1220 di atas dapat dikatakan bahwa gagalnya motor roket pada uji terbang pertama tanggal 26 Nopember 2011 diakibatkan oleh selisih diameter antara roket dengan tabung peluncur yang terlalu longgar. Adapun terjadinya putus motor roket roket RX 1220 pada saat uji terbang tanggal 23 April 2012 sangat mungkin diakibatkan oleh adanya cacat sambungan propelan. Dugaan tersebut telah dapat dibuktikan dengan berhasilnya pengujian roket setelah mengalami perbaikan yang berupa penambahan cincin untuk memperbesar diameter pada roket dan penggunaan batang penyambung propelan pada proses pembuatan motor roket.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian dan analisis di atas maka pada pembuatan dan pengembangan roket RX 1220 dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Terdapat dua jenis kegagalan pada pengujian roket RX 1220 yaitu kegagalan pertama berupa robeknya bagian nosel dan bagian belakang tabung peluncur sedangkan kegagalan kedua berupa putusnya tabung motor roket saat uji terbang.
- Kegagalan roket pada uji terbang pertama tanggal 26 Nopember 2011 diakibatkan oleh adanya selisih antara diameter luar roket dengan diameter dalam tabung peluncur yang terlalu longgar.
- Kegagalan roket saat uji terbang kedua tanggal 23 April 2012 diakibatkan oleh adanya celah pada sambungan propelan.
- Upaya untuk mengatasi terjadinya kegagalan pada uji terbang roket RX 1220 adalah berupa penambahan cincin komposit pada tabung roket dan penggunaan batang penyambung propelan pada proses pembuatan motor roket.
- Kegagalan roket RX 1220 telah dapat diatasi dan hasil perbaikannya telah berhasil diuji terbang dengan baik.

#### UCAPAN TERIMAKASIH

Dalam rangka mewujudkan tulisan ini ucapan terimakasih saya sampaikan kepada:

- Kemenristek yang telah membiayai kegiatan pengembangan roket D230
- Tim Konsorsium Roket Nasional yang telah bekerjasama dalam mewujudkan kegiatan ini
- Tim Rekayasa - Pusat Teknologi Roket Tahun 2012 yang telah melengkapi data roket
- Personil Lab Liner / Inhibitor atas kerjasamanya dalam melaksanakan penyempurnaan proses pembuatan motor roket yang telah dirancang penulis
- Tim Dokumentasi yang telah memberikan data hasil rekaman uji terbang RX 1220 menggunakan *high speed camera*.
- Tim Yon Zipur II Prabumulih - Sumatera Selatan dan Kemhan yang telah membantu dalam menemukan bangkai roket yang mengalami kegagalan saat uji terbang sebagai bahan evaluasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- ....., *Thermal properties of Al 6061 –T6*, ASM Aerospace Specification metals Inc, <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MA6061t6>, diakses September 2012.
- Davenas, Alain, *Solid Rocket Propulsion Technology*, 1<sup>st</sup> edition, Pergamon Press, Oxford, 1993.
- Parker, Earl R, *Materials Data Book for Engineers and Scientists*, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1967.
- Holman, J.P, *Heat Transfer*, sixth edition, Mc Graw-Hill, New York, 1986.
- Sutrisno, “*Penggunaan dan Karak-terisasi Bahan Lapisan Penahan Panas pada Roket Padat*”, Jurnal Antariksa Nasional, Jan Nas, Vol. 1, Maret 2000, LAPAN, Jakarta, 2000.
- Sutton, GP and Biblarz, *Rocket Propulsion Elements*, Seventh edition, John Wiley & Sons Inc, New York, 2001.
- Tim Rekayasa, *Dokumen Perancangan Motor Roket D230*, Pusat Teknologi Roket – LAPAN, 2011.
- Tim Rekayasa, *Dokumen Status Roket D230*, Pusat Teknologi Roket – LAPAN, 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