

RANCANG BANGUN SISTEM PENAHAN PANAS PADA MOTOR ROKET *CIGARETTE BURNING*

Sutrisno
Peneliti Pusat Teknologi Wahana Dirgantara. LAPAN

ABSTRACT

The thrust of cigarette burning rocket motor is relatively lower but the is burning time is too long than that of the radial burning. The cigarette burning rocket motor structure easy to be fail due to the thermal stress thermal effect. Hence the thermal insulation sistem becomes very important. This paper discuss about the design and preparation of thermal insulation system in the cigarette burning rocket motor.

The carbon and polyester fiber were used as the thermal protector materials in burning chamber. The liner matrix and inhibitor in the cap side were made from epoxy. O-ring spacer was applied to avoid the gas leakage from the combustion chamber. The performance of thermal insulation system was tested through static test of rocket motor. The result of the test provide that thermal insulation system showed the good performance. It is found that the burning time of the rocket motor is 116 second and the maximum temperature of the outer surface of the tube is 139°C.

ABSTRAK

Motor roket *cigarette burning* menghasilkan gaya dorong relatif rendah dibandingkan dengan *radial burning* tetapi mempunyai waktu pembakaran jauh lebih lama. Selain itu struktur motor roket *cigarette burning* akan lebih mudah rusak akibat terkena efek termal yang lebih banyak dari pada motor roket *radial burning*. Oleh karena itu sistem perlindungan panas pada ruang bakar berperan sangat besar terhadap keberhasilan motor roket *cigarette burning*. Tulisan ini memaparkan perancangan dan pembuatan sistem penahan panas pada motor roket tersebut.

Fiber carbon dan fiber polyester digunakan sebagai material penahan panas pada ruang bakar. Epoksi digunakan sebagai matriks serat karbon dan polyester "*Unef*" dan "*inhibitor*" pada bagian dalam ruang bakar di dekat "*cap*". Guna mengatasi terjadinya celah pada pertemuan antara propelan dengan nosel yang dapat dilewati gas panas pembakaran propelan menuju dinding tabung motor roket ditambahkan *O-ring spacer* dari bahan karbon epoksi. Berdasarkan hasil uji starik motor roket menunjukkan bahwa sistem penahan panas pada motor roket *cigarette burning* berfungsi dengan baik. Pada pengujian tersebut diperoleh bahwa motor roket menyala selama 116 detik dan temperatur luar tabung pada akhir pembakaran propelan terukur maksimum 139°C.

Kata kunci: *Pembakaran sigaret, Pembakaran radial, Tegangan termal, Bahan isolasi panas*

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan bentuk lintasan terbangnya, roket dapat dikategorikan ke dalam dua macam yaitu roket balistik dan roket kendali. Roket jenis balistik apabila ditembakkan akan mempunyai

lintasan seperti gerak bola pejal yang dilemparkan. Pada roket kendali lintasan tersebut dapat berubah sesuai dengan yang diinginkan. Roket kategori kendali ini banyak digunakan pada roket-roket pengorbit satelit atau roket senjata (*guided missile*). Salah satu syarat utama roket kendali adalah mempunyai waktu terbang

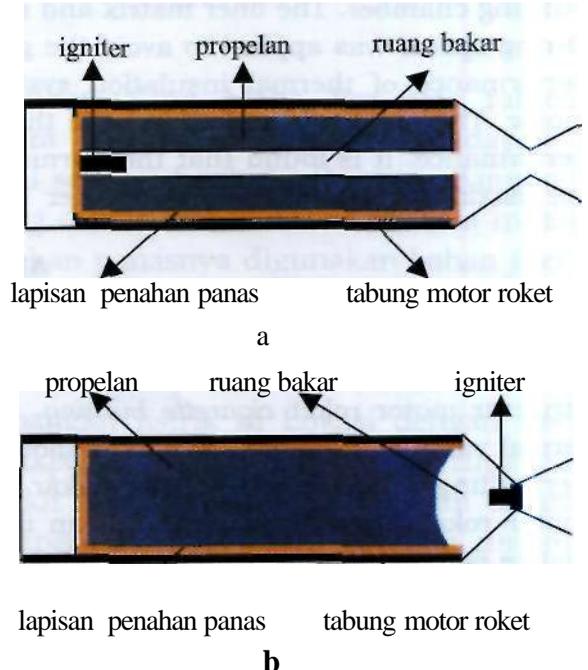
yang relatif lebih lama dibandingkan dengan roket balistik. Hal ini dimaksudkan agar cukup waktu untuk melakukan perintah pemrograman bagi gerakan sistem kendali roket.

Roket berbahan bakar padat (*solid propellant rocket*) umumnya memiliki waktu terbang yang singkat. Guna memperoleh waktu terbang roket yang cukup lama biasanya digunakan dua buah motor roket (*double stage*) yaitu *booster* dan *sustainer*. Motor roket booster digunakan untuk memperoleh gaya dorong yang cukup untuk mengangkat roket dan melawan gaya gravitasi. Motor roket ini mempunyai waktu pembakaran yang singkat tetapi menghasilkan gaya dorong yang sangat besar. Adapun motor roket sustainer akan menghasilkan gaya dorong jauh lebih kecil tetapi mempunyai waktu pembakaran yang cukup panjang. Motor roket ini diaktifkan setelah motor roket *booster* bekerja. Motor roket sustainer dengan gaya dorong rendah digunakan untuk mendorong roket yang masih mempunyai kecepatan awal dari pembakaran motor roket *booster*.

Salah satu cara untuk mendapatkan motor roket *sustainer* dengan waktu pembakaran yang panjang adalah menggunakan propelan yang pembakarannya dirancang dari bagian ujung (*cigarette burning*). Selama ini LAPAN baru menguasai teknologi motor roket tipe *radial burning* dimana propelan terbakar dari dalam ruang bakar ke arah luar menuju dinding tabung motor roket. Gambar 1-1 memperlihatkan perbedaan kedua jenis motor roket ini.

Pembakaran propelan di dalam ruang bakar motor roket akan menghasilkan panas yang sangat tinggi. Sistem lapisan penahan panas diperlukan untuk mencegah terjadinya kerusakan dinding ruang bakar. Pada motor roket tipe *radial burning* panas pembakaran propelan tidak langsung mengenai dinding tabung motor roket tetapi harus melewati lapisan propelan yang belum terbakar dan sistem penahan panas yang keduanya tergolong material isolator. Hantaran panas yang

terjadi ditambah waktu pembakaran yang relatif singkat memungkinkan dinding tabung motor roket tidak mudah mengalami kerusakan. Adapun pada motor roket tipe *cigarette burning*, panas pembakaran hanya melewati lapisan penahan panas untuk menuju dinding tabung motor roket. Dinding ruang bakar akan dikenai panas pembakaran yang tinggi dalam waktu yang relatif lebih panjang sehingga akan mudah rusak. Oleh karena itu sistem lapisan penahan panas pada motor roket *cigarette burning* berperan sangat besar terhadap keberhasilan motor roket *cigarette burning*.



Gambar 1-1: Motor roket : a. *radial burning*
b. *cigarette burning*

1.2 Tujuan Penulisan

Tulisan ini membahas perancangan dan pembuatan sistem lapisan penahan panas pada motor roket *cigarette burning* dan kinerjanya.

1.3 Batasan Masalah

Bahasan perancangan dan pembuatan sistem lapisan penahan panas pada motor roket *cigarette burning* difokuskan pada motor roket kelas diameter 100 mm. Motor roket ini dirancang untuk beroperasi selama 40 hingga 100 detik dan masih menggunakan tabung motor roket baja dengan ketebalan 6 mm.

Pembakaran propelan tipe *cigarette burning* akan menjalar dalam arah longitudinal (aksial) sepanjang ruang bakax motor roket Konfigurasi dari grain propelan tersebut jika terbakar akan menghasilkan gas dengan tekanan yang hampir konstan. Waktu pembakaran dari motor roket tersebut cukup panjang dan gaya dorong yang dihasilkan cukup rendah atau sedang. Sistem penahan panas yang berupa *isolator* termal dan *inhibitor* berperan sangat penting pada motor roket *cigarette burning* untuk melindungi ruang bakar dari terpaan gas panas kontinyu dan untuk membatasi permukaan luasan pembakaran yang dikehendaki.

Temperatur pembakaran propelan padat berkisar antara 2000°C hingga 3500°C (Davenas 1993). Guna menghindari kerusakan akibat beban kerja tersebut dinding bagian dalam ruang bakar perlu diberi material lapisan penahan panas. Material ini terdiri dari 3 (tiga) bagian, yaitu: liner, *inhibitor* dan isolator termal. Liner berfungsi sebagai perekat antara propelan dengan dinding tabung motor roket, *inhibitor* digunakan untuk melapisi permukaan propelan yang tidak dikehendaki terjadinya pembakaran sedangkan *isolator* termal untuk menahan temperatur tinggi. Liner dan inhibitor dibuat dari senyawa epoksi sedangkan isolator panas dapat berupa asbes, serat *carbon* dan lain-lain.

Terdapat dua macam cara perakitan propelan ke dalam motor roket yaitu *free standing* dan *case bonded*. Perbedaan kedua cara tersebut terletak pada pembuatan sistem lapisan penahan panasnya. Pada cara perakitan yang pertama permukaan luar propelan telah diberi lapisan penahan panas sebelum dimasukkan ke dalam tabung motor roket. Adapun pada cara yang kedua propelan dimasukkan ke dalam tabung motor roket, selanjutnya celah antara propelan dan dinding tabung diisi dengan material penahan panas. Selain itu material penahan panas pada

motor roket ada yang mempunyai sifat fleksibel dan ada yang kaku. Sistem proteksi termal fleksibel pada motor roket biasanya dibuat dari senyawa karet [*elastomer*] dengan beberapa isian seperti oksalat, karbonat dan hidrat serta refraktori (karbon, silika atau asbestos fiber). Adapun proteksi termal yang kaku [*rigid thermal protection*] biasanya dibuat dari resin fenolik atau turunannya yang diperkuat dengan fiber refraktori seperti asbestos, silika, carbon, alumina atau bahkan nylon). Beberapa sifat penting yang harus dimiliki oleh material penahan panas pada motor roket adalah ketahanan panas yang tinggi, konduktivitas termal yang rendah serta dapat memberi kontribusi kekuatan struktur motor roket.

3 METODOLOGI

Pembuatan sistem penahan panas pada motor roket *cigarette burning* dilakukan dengan metodologi sebagai berikut.

- Pemilihan material utama sebagai protektor termal pada motor roket. Hal ini dilakukan dengan uji bakar menggunakan nyala propelan. Material protektor termal dilapiskan pada permukaan batang propelan pejal menggunakan adhesif. Ujung propelan dibakar selanjutnya temperatur dinding luar yang telah dilapisi protektor termal diukur temperaturnya menggunakan termometer infra merah.
- Analisis bagian kritis pada motor roket yang akan terkena efek termal akibat pembakaran propelan. Perlindungan panas di setiap bagian ruang bakar dibuat dengan mempertimbangkan banyak dan lamanya bagian tersebut terkena gas panas pembakaran propelan.
- Membuat disain sistem penahan panas motor roket *cigarette burning*.
- Pembuatan sistem penahan panas motor roket
- Pengujian motor roket melalui uji statik.

4 PELAKSANAAN PENELITIAN

4.1 Pemilihan Material Utama Protektor Termal

Dalam rangka memilih material protektor termal telah dibuat beberapa sampel uji bakar menggunakan propelan. Batang propelan yang berbentuk tabung pejal dilapisi dengan lapisan protektor termal menggunakan adhesif. Protektor termal yang berupa anyaman *fiber carbon* dan *fiber cloth polyester* digunakan untuk dibuat sampel. Berbagai sampel dibuat dengan memvariasi jumlah dan jenis lapisan protektor termal. Selanjutnya propelan dibakar dari ujung dan temperatur dinding luar selama pembakaran dicatat. Gambar 4-1 memperlihatkan sampel dan uji pembakaran yang dilakukan.

4.2 Analisis Bagian Kritis dan Pembuatan Disain Lapisan Penahan Panas Motor Roket

Pembakaran propelan pada motor roket *cigarette burning* dimulai dari ujung dekat bagian nosel dalam arah longitudinal menuju bagian "cap". Ruang bakar di bagian dekat nosel akan terkena panas lebih awal dan lama dibandingkan dengan di bagian *cap*. Hal ini berarti bahwa dinding ruang bakar akan mengalami kerusakan lebih cepat di bagian nosel. Oleh karena itu diperlukan protektor termal pada ruang bakar dekat ujung

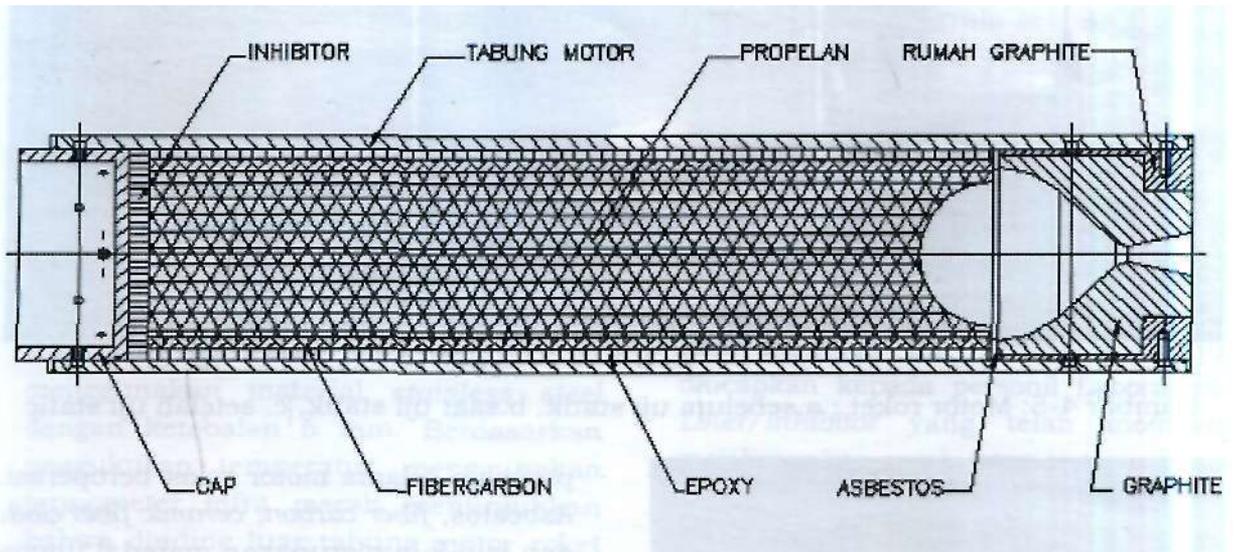
nosel yang lebih baik atau lebih tebal dibandingkan dengan di bagian *cap*. Selanjutnya pertemuan antara ujung propelan dengan ujung *nosel* akan sangat memungkinkan terjadinya celah yang dapat tertembus panas pembakaran propelan menuju dinding tabung motor roket. Bagian ini perlu diisi dengan material tahan panas yang dapat mencegah lewatnya gas panas pembakaran propelan. Hal ini dapat diatasi dengan pemberian material asbestos, *fiber carbon* atau sejenisnya. Sementara itu ruang bakar di bagian *cap* motor roket hanya akan terkena panas pembakaran paling akhir dan dalam waktu yang relatif singkat sehingga bagian ini memerlukan material pelindung panas yang tidak sekuat bagian *nosel*

4.3 Disain Sistem Penahan Panas Motor Roket

Atas dasar analisis di atas dibuat disain sistem penahan panas pada motor roket *cigarette burning*. Permukaan luar propelan diberi lapisan *fiber carbon* dan *fiber cloth polyester* sebagai protektor termal terhadap dinding tabung motor roket. Ruang antara lapisan protektor termal dengan permukaan dalam tabung diisi dengan matriks epoksi yang berfungsi sebagai adhesif dan isolator panas. Bagian ujung propelan di bagian *cap* ditambah inhibitor setebal 5 hingga 10 mm.



Gambar 4-1: Sampel uji bakar dan hasil pengujian protektor termal



Gambar 4-2: Disain sistem penahan panas motor roket cigarette burning

Kemungkinan terdapatnya celah pada pertemuan antara ujung propelan dengan nosel diberi *O-ring spacer*.

Gambar 4-2 memperlihatkan disain sistem penahan panas pada motor roket *cigarette burning*.

4.4 Pembuatan Sistem Penahan Panas

Secara garis besar pembuatan sistem penahan panas pada motor roket *cigarette burning* terdiri dari 5 (lima) macam kegiatan yaitu pengukuran dan pemotongan propelan, pelapisan propelan dengan protektor termal, pembuatan inhibitor, pengecoran matrik liner dan pembuatan *O-ring spacer*. Propelan dipotong dengan menyesuaikan dimensi komponen motor roket berupa tabung, *cap* dan *nosel*. Pemotongan dilakukan secara horisontal menggunakan alat bantu potong propelan. Propelan yang telah dipotong dilapisi dengan material protektor termal. Lapisan paling dalam berupa 3 lapis anyaman *fiber carbon* diikuti dengan 3 lapis kain *fiber polyester* hingga mempunyai ketebalan 4 mm. Inhibitor di bagian *cap* dibuat dari material epoksi yang dicetak sesuai diameter dalam tabung setebal 5-10 mm. Inhibitor dan propelan dimasukkan ke dalam tabung motor roket dimana posisi bagian *cap* berada di

bawah. Tebal lapisan penahan panas pada tabung motor roket ini adalah 10 mm. Celah antara propelan dengan dinding dalam tabung diisi dengan matrik liner hingga batas ujung propelan dan dikeringkan selama 24 jam.

O-ring spacer dibuat dari lembaran *fiber carbon* yang telah diberi matrik epoksi sehingga menghasilkan lembaran. Dari lembaran yang terjadi dibuat *O-ring spacer* berupa cincin lingkaran yang berukuran sesuai dengan diameter dalam tabung dan permukaan luar propelan. *O-ring spacer* ini dipasang saat perakitan komponen motor roket yang lain (*cap*, *nosel* dan *igniter*). Material *O-ring spacer* ditunjukkan pada Gambar 4-3, sedangkan Gambar 4-4 memperlihatkan motor roket yang telah berisi propelan dan sistem penahan panas.



Gambar 4-3: *O-ring spacer* motor roket dan lembaran material yang digunakan



a

b

c

Gambar 4-5: Motor roket : a.sebelum uji statik, b.saata uji statik, c. setelah uji static



Gambar 4-4: Motor roket *cigarette burning* dan sistem penahan panas

4.5 Pengujian Motor Roket

Motor roket yang telah diberi sistem penahan panas dirakit bersama igniter sebagai penyala mula propelan untuk selanjutnya diuji. Pengujian motor roket dilakukan melalui uji statik. Motor roket ditempatkan pada *test bed* secara horisontal. waktu pembakaran dan temperatur dinding luar motor roket dicatat. Gambar 4-5 memperlihatkan motor roket sebelum dan selama pembakaran pada uji statik.

5 PEMBAHASAN

Salah satu komponen penting pada motor roket *cigarette burning* adalah sistem lapisan penahan panas yang melidungi permukaan dalam ruang bakar motor roket. Material yang digunakan harus memiliki ketahanan panas yang tinggi sehingga perlu dicari material yang mampu menahan panas pembakaran

propelan selama motor roket beroperasi. Asbestos, *fiber carbon*, *ceramic fiber cloth* dan lain-lain merupakan material utama protektor termal yang baik. Beberapa material protektor termal telah dicoba untuk diuji ketahanan panasnya berupa anyaman *fiber carbon* dan kain *fiber polyester*. Berdasarkan uji bakar menggunakan propelan pada tekanan atmosfer terhadap kedua jenis material tersebut menunjukkan bahwa *fiber carbon* mempunyai ketahanan panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan *fiber polyester* bahkan satu lapis *fiber carbon* dapat menahan pembakaran propelan tanpa kerusakan yang berarti. Pada uji pembakaran selanjutnya terhadap berbagai jumlah lapisan *fiber carbon* menunjukkan bahwa nyala pembakaran propelan dapat keluar dinding tabung melewati celah anyaman dan membakar adhesif epoksi yang digunakan (Gambar 4-1). Dengan menambahkan lapisan *kain fiber polyester* ditengah lapisan protektor termal tersebut ternyata dapat menahan nyala api pembakaran. Atas dasar ini maka material protektor termal pada motor roket akan menggunakan dua jenis material yaitu anyaman *fiber carbon* yang diselengi lapisan kain *fiber polyester* di bagian tengahnya.

Berdasarkan analisis diperkirakan bahwa bagian pertemuan antara ujung propelan dengan *nosel* akan terdapat celah yang dapat dilalui gas panas hasil pembakaran propelan yang akan dapat merusak dinding tabung motor roket. Bagian ini diatasi dengan pemasangan

O-ring spacer yang terbuat dari *fiber carbon* yang telah diberi matriks epoksi. *O-ring spacer* yang dipasang pada motor roket ini terdiri dari dua lapis untuk menghilangkan celah tersebut.

Setelah motor roket dirakit bersama dengan iginter segera dilakukan uji statik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa motor roket menyala selama 116 detik tanpa mengalami kegagalan. Tabung motor roket yang digunakan pada pengujian ini menggunakan material *stainless steel* dengan ketebalan 6 mm. Berdasarkan pengukuran temperatur menggunakan termometer infra merah menunjukkan bahwa dinding luar tabung motor roket di bagian pertemuan antara ujung propelan dengan *nosel* mempunyai temperatur yang terus meningkat hingga mencapai 139°C pada akhir pembakaran propelan. Sistem isolasi panas pada motor roket harus dapat menahan temperatur tabung motor roket tidak lebih dari 150°C (Davenas, 1993). Pada temeperatur tersebut material struktur motor roket masih mampu menahan beban operasinya. Hal ini menunjukkan bahwa sistem penahan panas pada motor roket *cigarette burning* yang dibuat telah bekerja dengan baik.

6 KESIMPULAN

Dari uraian di atas dapat disimpulkan sebagai berikut.

- Sistem penahan panas pada motor roket *cigarette burning* berperan lebih besar terhadap keberhasilan motor roket dibandingkan dengan sistem penahan panas pada motor roket *radial burning*.
- Lapisan anyaman *fiber carbon* dan kain *fiber polyester* dapat digunakan sebagai protektor termal motor roket *cigarette burning*.
- *O-ring spacer* diperlukan untuk mengatasi terjadinya celah pada pertemuan antara propelan dengan *nosel* yang dapat dilewati panas pembakaran propelan menuju dinding tabung motor roket.
- Sistem penahan panas pada motor roket *cigarette burning* yang dibuat

telah berfungsi dengan baik dimana motor roket menyala selama 116 detik dan menghasilkan temperatur dinding luar tabung motor roket sebesar 139°C pada akhir pembakaran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya sampaikan kepada tim RUKK motor roket *cigarette burning* yang telah memberi tanggapan atas makalah ini. Terima kasih juga diucapkan kepada personil Laboratorium *Liner/Inhibitor* yang telah membantu melaksanakan pembuatan sistem penahan panas motor roket serta Agung Yudha yang telah membantu dalam pembuatan gambar disain motor roket.

DAFTAR PUSTAKA

- Davenas, Alain, 1993. *Solid Rocket Propulsion Technology*, 1st edition, Pergamon Press, Oxford.
- Holman, J.P, 1986. *Heat Transfer*, sixth edition, Mc. Graw-Hill, New York.
- Kuo, Kenneth K. and Summerfield, Martin, 1984. *Fundamentals of Solid PropeUant Combustion*, Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol. 90, American Institute of Aeronautics and Astronautics Inc., 1633 Broadway, New York.
- Nakka, Richard, 2003. *PropeUant Inhibitor Experiment*, Richard Nakka's Experimental Rocketry Web Site.
- Parker, Earl R., 1967. *Matrials Data Rook for Engineers and Scientists*, Mc. Graw-Hill Book Company, New York.
- Sutrisno, 2001. *Pengujian dan analisis Ketahanan panas material liner/inhibitor epoksi*, Jan Nas Vol. 4 No. 3, Jakarta.
- Sutton, George P. and Ross, Donald M, 1976. *Rocket Propulsion Elements, An Introduction to The Engineering of Rockets*, 4th ed, John Wiley and Sons, New York.
- Turi, Edith A., 1981. *Thermal Characterization of Polymeric Materials*, United Kingdom Edition, Academic Press, Inc., London.