

EFEKTIFITAS KETEBALAN LINER PADA TABUNG MOTOR ROKET RX 450 DENGAN PEMBAKARAN DALAM

*(THE EFFECTIVENESS OF THE THICKNESS OF THE LINER TUBE ROCKET MOTORS
RX 450 WITH INTERNAL COMBUSTION)*

Ediwan, Roni Irianto A.H
Peneliti Pusat Teknologi Roket
Pos El : ediwan.ok20@yahoo.com

Abstrak

Pada perancangan sebuah motor roket dibutuhkan bahan isolasi panas akibat pembakaran bahan bakar, agar struktur roket aman dalam operasinya. Karena struktur roket hanya digunakan sekali saja, maka dibutuhkan banyak penelitian-penelitian yang bertujuan agar hasil penelitian berguna untuk penelitian selanjutnya.

Dalam penelitian ini hanya dilakukan pada isolasi yang digunakan untuk melindungi struktur tabung motor roket RX-450 dari pengaruh temperatur pembakaran roket berbahan bakar padat atau sering disebut propelan, sedangkan isolasinya disebut liner. Untuk mengetahui tebal liner yang digunakan sudah cukup efektif untuk melindungi tabung dari pengaruh temperatur, sehingga perlu mencari ketebalan liner yang paling efektif dengan cara melakukan analisa penetrasi pada berbagai ketebalan liner mulai dari 4 mm sampai 8 mm, sehingga didapat ketebalan minimum yang diinginkan. Karena bahan tabung mempunyai temperatur maksimum yang diizinkan 500 °C, sehingga dibutuhkan tebal liner yang paling efektif.

Dengan ketebalan tersebut maka akan diperoleh volume propelan maksimum, sehingga kinerja motor roket akan tercapai

Kata kunci : Roket, Isolasi, Temperatur

Abstract

Thermal insulation material is needed to protect rocket structures during their operation from rocket motor's propellant combustion. Since the rocket is only a single-use therefore many researches are needed to be conducted such that the result is to be useful for future research.

In this paper only insulation material used to protect rocket RX-450 motor case from the solid propellant's combustion heat transfer is considered, this insulation material is called Liner. It is necessary to study whether the liner used has effectively protected the motor case from thermal loads or not. Hence it is necessary to obtain the most effective Liner's thickness by calculating the heat penetration in various Liner's thicknesses ranged from 4 mm to 8 mm such that the maximum operating temperature of rocket motor case will not be greater than 500 °C.

By obtaining the most effective Liner's thickness we can easily calculate the maximum volume of solid propellant that can be filled into the motor case..

Keyword: Rocket, Insulation, temperature

1. PENDAHULUAN

Dalam suatu penelitian dan pengembangan diperlukan data yang akurat, agar hasil yang dilakukan tercapai sesuai keinginan. Untuk menjamin bahwa data tersebut sudah benar diperlukan pengujian. Pada tulisan ini akan dilakukan perhitungan perpindahan panas secara teoritis menggunakan fungsi kesalahan Gauss, perhitungan ini dilakukan pada tabung roket RX-450 dengan bahan tabung baja AISI 17-7-PH, dengan *burning time* 19 detik, menggunakan bahan liner jenis epoxy. Bahan epoxy selama ini digunakan sebagai liner pada motor roket LAPAN dan cukup efektif digunakan untuk melindungi tabung dari pengaruh pembakaran dalam yang temperaturnya sekitar 2500 °C, bahan tabung AISI 17-7PH mempunyai kekuatan yang tinggi dibawah temperatur 500 °C, diatas temperatur tersebut kekuatannya menurun sangat tajam. [1].

Pada penelitian ini akan dicari ketebalan minimum dari liner yang paling efektif untuk melindungi tabung dari temperatur pembakaran bahan bakar propelan. Selama ini tebal liner hanya berdasarkan perkiraan saja yang disesuaikan antara diameter propelan dan diameter dalam tabung. Pada tulisan ini penulis melakukan analisa untuk ketebalan liner dari 4 mm sampai 8 mm, sehingga didapat

tebal liner yang paling efektif, dengan data liner yang didapat dari pengujian sifat liner dari bahan epoxy dengan density 1120 kg/m², konduktivitas termal 0.22 W/mK dan panas spesifik 0.01038 [2].

Dengan menggunakan fungsi kesalahan Gauss ini akan didapat tebal liner yang paling efisien yaitu aman untuk tabung dan akan meningkatkan kinerja roket, karena perbandingan volume propelan juga akan meningkat.

2. METODOLOGI

Pada perhitungan perpindahan panas secara konduksi, Fungsi kesalahan gauss ini sering disebut juga dengan *Error Fungtion* dan digunakan untuk perhitungan perpindahan panas secara transien. [3] Parameter dasar sebagai data dalam perpindahan panas ini adalah jenis bahan liner yang digunakan pada dinding tabung dimana data yang dibutuhkan dari bahan tersebut adalah konduktivitas termal (k), massa jenis (ρ) dan koefisien panas jenis (Cp). Selanjutnya digunakan istilah difusivitas termal yaitu konduktivitas termal dibagi dengan massa jenis dan panas jenis, dengan Satuan yang digunakan mengikuti data yang didapat pada tabel 2-1. yaitu Difusivitas termal dirumuskan dengan [4]:

$$\alpha = \frac{k}{\rho \cdot Cp} \tag{1}$$

di mana

k = konduktivitas termal (W/(m·K))

ρ = massa jenis/density (kg/m³)

Cp = panas jenis (J/(kg·K))

Tabel 2-1 Sifat Fisik Liner [1]

Material Liner	Masa jenis kg/m ³	Konduktivitas termal W/mK	Panas Spesifik kkal/kg °K
Epoxy	1120	0.22	0.01038

Dengan memasukkan data diatas kepersamaan didapat harga Difusivitas termal liner dan harga ini akan digunakan untuk perhitungan dasar sifat bahan liner.

$$\alpha = \frac{0.22}{1120 \times 0.01038} = 0.00189 \text{ m/s} = 1.89 \text{ mm/s}$$

Dengan menganggap sifat-sifat material adalah tetap g''=0 maka persamaan diferensial untuk distribusi temperatur T(r,t) adalah [4]:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \tag{2}$$

sarat batas T(0,t) = Tc - Ti

$$T(r,t) = 0$$

dengan :

Tc = temperatur ruang bakar

Ti = temperatur dalam tabung

Persoalan ini dapat diselesaikan dengan teknik transformasi Laplace [5]

$$T(r,t) = Ti - (Tc - Ti) \operatorname{erf} \left(\sqrt{\frac{c \cdot x}{\alpha \cdot t}} \right) \tag{3}$$

dapat juga ditulis,

$$\frac{T(r,t) - ti}{Tc - Ti} = \operatorname{erf} \cdot \frac{x}{2 \cdot \sqrt{\alpha \cdot t}} \tag{4}$$

Perubahan temperatur (T-Ti) sebagai fungsi jarak dan waktu yang disebabkan oleh kenaikan distribusi temperatur permukaan propelan Tc pada Ti sebagai titik awal (T-Ti) adalah sebagai berikut:

$$\frac{(T - T_i)}{(T_c - T_i)} = \text{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha \cdot t}}\right) \quad 5)$$

Distribusi dinding dari sumbu tabung T_c sampai T_i dan sering ditulis :

$$\frac{T_i}{T_c} = 1 - \text{Erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha \cdot t}}\right) \quad 6)$$

dengan $n = \frac{x}{2\sqrt{\alpha \cdot t}}$

maka :

$$T_i = T_c (1 - \text{Erf}(n))$$

dimana $\text{Erf}(n)$ didapat dari tabel yaitu error fungsi Gauss [5], dari sini terlihat bahwa penetrasi adalah kedalaman / ketebalan (r)

Untuk menyelesaikan persoalan ini digunakan metode Error fungsi dari Gauss seperti teori dasar diatas, karena propelan juga berfungsi sebagai isolator dan pembakaran awal yang akan diterima tabung mulai 3 detik akhir, sehingga pengambilan waktu tabung akan menerima panas mulai dari 3 detik pembakaran akhir.

Metode awal adalah mencari harga n , [6]

$$n = \frac{x}{2\sqrt{\alpha \cdot t}}$$

dimana

x = ketebalan liner yang bervariasi dari 4 mm sampai 8 mm

α = diffusifitas termal bahan liner = 1.89 mm/s

t = 3 detik akhir pembakaran

tabel 2-2 berikut ini didapat harga n untuk masing-masing ketebalan liner yaitu bila temperatur dinding pada waktu (t), maka dapat dihitung penetrasi dT dengan waktu $t = 3$ detik

Perubahan temperatur pada 3 detik terakhir untuk ketebalan liner 8 mm dan difusivitas termal 1.89 mm/s adalah,

$$n = \frac{x}{2\sqrt{\alpha \cdot t}} = \frac{8}{2\sqrt{1.89 \cdot (3)}} = 1.6798$$

Dengan cara yang sama harga n untuk ketebalan yang lain dapat dilihat pada tabel 2-2.

Tabel 2-2 Mencari harga n

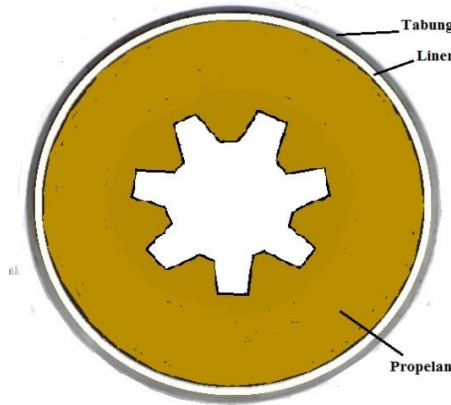
Tebal (mm)	n
4	0.8399
5	1.0499
6	1.25988
7	1.46986
8	1.6798

Kemudian dengan menggunakan tabel error fungsi didapatkan harga $\text{Erf}(n)$, sebagai berikut, dari tabel error fungsi $\text{Erf}(1.6798) = 0.9838$, untuk ketebalan yang lain dapat dilihat pada tabel 2-3. [3]

Tabel 2-3 Mencari error fungsi harga n

Tebal (mm)	n	$\text{Erf}(n)$
4	0.8399	0.7707
5	1.0499	0.8427
6	1.25988	0.9340
7	1.46986	0.9661
8	1.6798	0.9838

Gambar 2-1 berikut ini adalah kedudukan liner pada tabung dan propelan dengan menggunakan grain bintang



Gambar 2-1 Tabung Motor Roket

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam analisa pada propelan dan dinding ruang bakar, Prediksi temperatur dianggap merupakan sistem dimensi satu, untuk ketebalan liner 8 mm, tabel 3 harga $\text{Erf}(1.6798) = 0.9838$

maka,

$$\begin{aligned} T_i &= T_c \cdot (1 - \text{Erf}(n)) \\ &= 2500 \cdot (1 - 0.9838) \\ &= 41 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Hasil diatas menunjukkan bahwa pada ketebalan 8 mm temperatur yang diterima dinding tabung bagian dalam atau dinding liner bagian luar adalah 41 °C
Perhitungan dibawah ini adalah hasil perhitungan distribusi temperatur untuk ketebalan tabung yang lain, pada 3 detik akhir pembakaran, sehingga didapat distribusi temperatur tiap ketebalan tabung seperti yang dapat dilihat pada tabel 3-1. dibawah ini.

Tabel 3-1 Hasil Perhitungan Temperatur dalam tabung

Tebal Liner (mm)	T (detik)	N	Erf(N)	T (°C)
4	3	0.8399	0.7707	573
5	3	1.0499	0.8427	393
6	3	1.25988	0.9340	165
7	3	1.46986	0.9661	85
8	3	1.6798	0.9838	41

Dari tabel 3-1 diatas terlihat bahwa temperatur tabung paling rendah 41°C bila ketebalan liner 8 mm, pada ketebalan 5 mm temperatur masih dibawaJh 500 °C sehingga masih aman untuk bahan AISI 17-7PH dan temperatur paling tinggi 573 °C untuk ketebalan 4 mm, pada ketebalan 4 mm ini tabung tidak aman lagi, karena tabung hanya diizinkan menerima temperatur maksimum 500 °C, diatas temperatur tersebut kekuatannya menurun sangat cepat dan bila tebal liner terlalu tebal, maka perbandingan volume propelan semakin kecil [7]

Dari hasil perhitungan diatas, dengan didapatnya data temperatur pada dinding tabung bagian dalam kita dapat juga menghitung tegangan yang terjadi pada tabung bahkan dengan hanya melihat besarnya temperatur dinding bagian dalam dapat diperkirakan apakah tabung tersebut aman atau tidak karena setiap material mempunyai temperatur kritisnya masing-masing [8,9]

4. KESIMPULAN

Dari tabel 3-1 hasil perhitungan pada berbagai ketebalan liner untuk 3 detik akhir pembakaran dapat disimpulkan bahwa ketebalan ≥ 5 mm adalah termasuk efektif untuk digunakan yaitu daerah aman untuk tabung karena temperatur yang diterima tabung lebih kecil dari 500 °C, untuk ketebalan 4 mm masuk daerah kritis untuk tabung karena temperatur yang terjadi diatas 500 °C, maka akan membahayakan tabung sehingga tebal liner yang diperbolehkan minimal 5 mm, kecuali tabung menggunakan bahan yang masih mempunyai kekuatan cukup tinggi pada temperatur diatas 500 °C. Dengan memilih tebal yang paling efektif adalah minimal 5 mm, sehingga perbandingan volume untuk propelan juga akan efektif dan hasil yang akan didapat yaitu meningkatkan prestasi terbang roket itu sendiri. [10]

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada rekan peneliti dan para struktural bidang struktur, propulsi, Propelan dan Bengkel Fabrikasi LAPAN atas kerjasama yang baik dalam perancangan roket rx 450 dari uji statik sampai uji terbang

PERNYATAAN PENULIS

Menyatakan bahwa Tulisan Ilmiah yang akan dipublikasi kan ini adalah hasil karya sendiri dan bukan merupakan duplikat sebagian atau seluruhnya dari karya orang lain, kecuali yang telah disebutkan sumbernya. Pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya dan secara sadar serta tanggung jawab penulis

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Ediwan, *Kinerja motor roket anti kapal dengan propelan htpb*, Prosiding Seminar Nasional Iptek Dirgantara 2009, Diterbitkan Oleh LAPAN
- 2) Ediwan, *Verifikasi hasil perhitungan tabung motor roket RX 320*, Prosiding Seminar Nasional Iptek Dirgantara, 2007, Diterbitkan Oleh LAPAN
- 3) J.P Holman, *Heat Transfer*, McGraw-Hill Book, Inc, New York. 1981.
- 4) Boley And Weiner, *Theory of Thermal Stresses*, John wiley and Son, Singapore. 1982.
- 5) Alan Adams, *Computer-Aided Heat Transfer Analisis*, McGraw-Hill, LTD Tokyo. 1984.
- 6) Ediwan, *Pengujian Kekuatan Bahan Tabung Motor Roket Pada Berbagai Temperatur*, Prosiding Seminar Nasional Iptek Dirgantara IX, Vol. 2, Diterbitkan LAPAN. 2005
- 7) Sutton, *Rocket Propulsion Elements*, John Wiley and Sons, Inc. 2001.
- 8) L.H Abraham, *Structural Design of Missiles and SpaceCraft*, McGraw-Hill Book, NewYork. 1962.
- 9) E.R Parker, *Material Missiles and SpaceCraft*, University Barkley California. 1987.
- 10) Ediwan, *Prestasi Roket RX 1712 dan RX 1512 LAPAN dari Hasil Pengujian*. Jurnal Ilmu dan Rekayasa Teknologi Industri (JIRTI) 2004. Fakultas Teknologi Industri Universitas Empu Tantular. 2004.

LAMPIRAN



Gambar 1. Uji Terbang Roket RX 450 Tanggal 13 Mei 2015