

PENGARUH PENAMBAHAN ZIRKONIUM SILIKAT ($ZrSiO_4$) SEBAGAI INSULATOR TERMAL TERHADAP NILAI KONDUKTIVITAS TERMAL LINER HTPB

Aprilla Erryani

Peneliti Bidang Teknologi Propelan, Pusat Teknologi Roket, LAPAN
e-mail: luv_azzurri@yahoo.com

RINGKASAN

Liner adalah material elastomer yang digunakan sebagai perekat dan insulator termal atau pelapis pelindung panas antara propelan dan tabung roket. Material liner yang cocok digunakan pada motor roket adalah komponen liner yang hampir sama dengan propelan agar propelan dapat merekat kuat pada liner. Komposisi liner yang digunakan pada penelitian ini adalah *Hydroxyl-Terminated Polybutadiene* (HTPB) sebagai resin polimer dan Toluene Diisosiyanat (TDI) sebagai *curing agent*-nya. Perbandingan komposisi HTPB dan TDI yang digunakan adalah 12:1. Untuk meningkatkan sifat liner maka ditambahkan *filler* yang berperan penting sebagai material insulator. Pada penelitian ini *filler* yang digunakan adalah zirkonium Silikat ($ZrSiO_4$). Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh penambahan *filler* $ZrSiO_4$ pada material liner roket propelan padat dengan komposisi *filler* 10% dan 5% berat variasi partikel 40, 100 dan 170 mesh. Sifat liner yang diuji adalah konduktivitas termal dan hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan *filler* $ZrSiO_4$ dapat menurunkan nilai konduktivitas termal liner dengan sangat signifikan.

1 PENDAHULUAN

Liner adalah material elastomer yang digunakan sebagai perekat dan insulator termal atau pelapis pelindung panas antara propelan dan tabung roket. Material liner yang cocok digunakan pada motor roket adalah komponen liner yang hampir sama dengan propelan agar propelan dapat merekat kuat pada liner. Pada umumnya liner memiliki komponen yang sama dengan propelan hanya saja tanpa kandungan oksidator. Komponen liner diharapkan memiliki resin *curable* polimer dan *curatif* yang sama dengan *binder* propelan.

Saat ini LAPAN menggunakan propelan berbahan dasar *Hydroxyl-Terminated Polybutadiene* (HTPB) tetapi menggunakan liner berbasis epoxy. Untuk memastikan kecocokan dan bagusnya ikatan antara liner dengan propelan, komposisi liner sebaiknya didasarkan atau sama dengan sistem

binder yang digunakan sebagai bahan baku propelan. HTPB merupakan komposisi dasar propelan yang secara luas digunakan pada motor roket pada saat ini dengan Toluene Diisosiyanat (TDI) sebagai *curing agent* yang akan membentuk poliuretan apabila direaksikan dengan HTPB. Sehingga HTPB-TDI merupakan bahan yang sangat cocok untuk material liner roket propelan padat.

LAPAN melakukan pengembangan variasi *filler* pada liner bertujuan untuk mendapatkan komposisi liner yang lebih baik dari sebelumnya, dimana *filler* merupakan material insulator (penahan panas) pada roket. Dengan adanya variasi *filler* diharapkan akan diperoleh banyak alternatif material insulator pada roket. Salah satu *filler* yang bisa digunakan sebagai material insulator adalah $ZrSiO_4$ (Zirkonium Silikat). $ZrSiO_4$ merupakan *filler* non karbon berupa

serbuk halus yang memiliki sifat-sifat yang cocok untuk memperkuat sifat-sifat mekanik maupun termal pada liner roket propelan padat. $ZrSiO_4$ stabil pada suhu tinggi dan memiliki ketahanan termal yang sangat baik sehingga sangat cocok untuk dijadikan sebagai *filler* pada liner.

2 DASAR TEORI

2.1 Liner

Pada motor roket yang menggunakan bahan bakar propelan padat, propelan dan tabung diikat oleh sebuah material elastis yang dikenal sebagai liner. Liner bertindak sebagai bahan perekat dan sebagai bahan penahan panas. Hal yang paling penting pada kinerja dari suatu motor roket adalah liner dapat mengikat tabung dan propelan dengan sangat baik. Performa dan hasil dari karakteristik propelan sangat bergantung pada ketahanan liner selama proses pembakaran. Setelah terbakar, propelan akan menghasilkan gas dengan volume dan bertekanan tinggi dari ruang bakar melalui *nozzle* dengan kecepatan tinggi. Reaksi yang dihasilkan dari percepatan gas melalui *nozzle* menciptakan daya dorong. Material liner sangat penting keberadaannya untuk melindungi tabung dari efek pembakaran tersebut. Untuk itu liner yang digunakan harus memenuhi syarat terutama ketahanan mekanik dan ketahanan termal yang merupakan faktor penting sebagai penunjang fungsi liner tersebut sebagai perekat dan material insulator (penahan panas) roket.

Material liner yang digunakan sebaiknya sama dengan sistem binder dari bahan baku propelan itu sendiri. Karena untuk memastikan kecocokan dan bagusnya daya ikat antara propelan dan liner. Sistem binder yang sering digunakan sebagai bahan baku propelan adalah material polimer butadiena misalnya *carboxyterminated polybutadiene* dan *hydroxyterminated polybutadiene*. Yang

apabila bereaksi dengan *curing agent* akan membentuk Poliurethane.

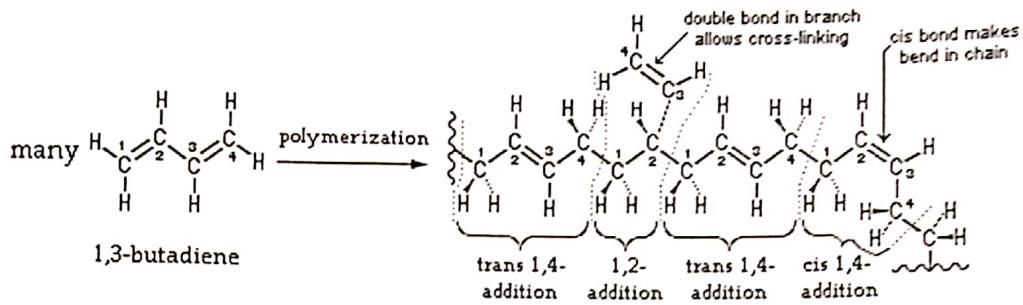
Curing agent adalah zat yang akan membantu membentuk ikatan silang (*crosslink*) antara polimer binder sehingga sesama molekul polimer binder dapat berikatan dan akhirnya matang (*curing*). Jenis *curing agent* berbeda-beda tergantung pada jenis binder. Bila bindernya epoksi maka *curing agent* dapat berupa *hardener* jenis poliamid, asam anhidrida atau basa lewis. Bila bindernya adalah polibutadiena maka *curing agent*nya dapat berupa poliisocianat.

Poliisocianat yang sering dipakai sebagai *curing agent* adalah *Isophorone Diisocyanate* (IPDI), *Dimeryl Diisocyanate* (DDI), *Toluene Diisocyanate* (TDI), *Hexamethylene Diisocyanate* (HDI) dan *Naphtalene Diisocyanate* (NDI).

2.2 Hydroxyl Terminated Polybutadiene (HTPB)-Toluene Diisocianat (TDI)

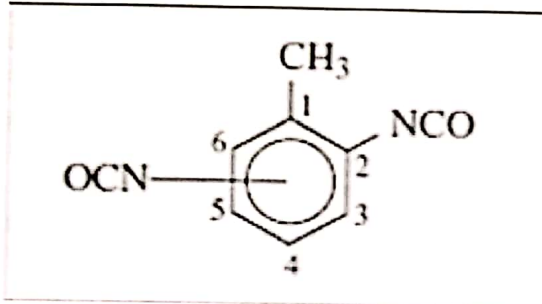
Hydroxyl-Terminated Polybutadiene (HTPB) adalah polimer butadiena yang diterminalasi oleh gugus fungsional hidroksil pada setiap ujungnya. HTPB masuk ke dalam kelas polimer polyol. HTPB bila direaksikan dengan *Toluene Diisocyanat* (TDI) akan membentuk polyurethane, material sintetis yang stabil dan mudah disimpan.

HTPB digunakan secara luas pada aplikasi seperti: perekat, binder, pelapis yang tahan air dan anti korosi, elastomer dan lain lain. Dibandingkan dengan *polieter* atau *poliester*, polibutadiena memiliki ketahanan hidrolitik yang lebih baik dan fleksibilitas yang tinggi pada suhu rendah dan juga memiliki energi permukaan yang rendah. Sifat-sifat ini didapat dari karakter hidrofobik dan rendahnya T_g dari polibutadiena. Dengan kata lain, pada suhu kamar sifat-sifat mekanik dari polibutadiena seperti *tensile strength*, *abration* dan *tear resistance* tidak setinggi *polieter* dan *poliester*.



Gambar 2-1: Struktur Molekul HTPB

Toluene Diisocyanat (TDI) merupakan senyawa kimia yang mempunyai 2 gugus aktif isocyanat dengan struktur molekul sebagai berikut:



Gambar 2-2: Struktur Molekul TDI

Menurut Hepburn (1982) diisocyanat banyak diminati dalam pembuatan polimer uretan, salah satunya adalah 2,4- dan 2,6- toluene diisocyanat, yang dikomersilkan berupa campuran 80:20 dari 2,4- dan 2,6- toluene diisocyanat.

Apabila HTPB dicampur dengan TDI akan membentuk polimer organik yaitu sejenis poliuretan, biasa disingkat PU, merupakan polimer yang terdiri dari 2 rantai unit organik yang bergabung dengan sisi uretan. Polimer polyuretan terbentuk dengan mereaksikan sebuah monomer yang setidaknya mengandung dua gugus fungsi diisocyanat dengan monomer yang mengandung dua gugus alkohol.

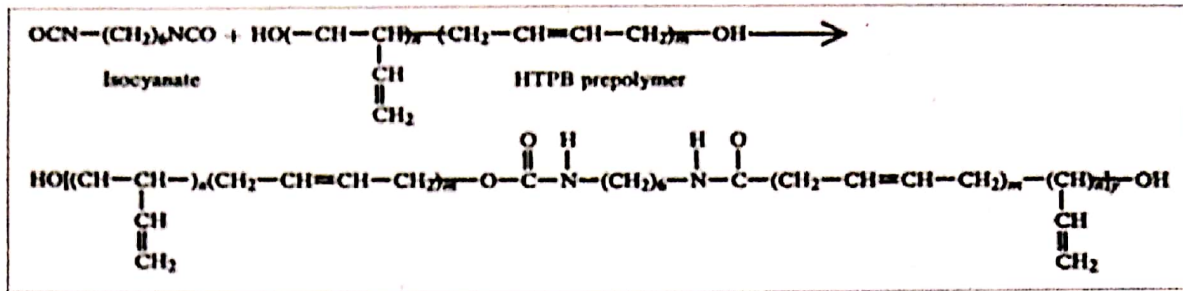
Poliuretane berada dalam kelas senyawa polimer reaktif sama seperti epoksi, poliester tidak jenuh dan fenol. Ikatan uretan (-RNHCOOR') terbentuk dari mereaksikan gugus isocyanat (-N=C=O) dengan gugus hidroksil/alkohol

(OH). Poliuretan terbentuk oleh reaksi poliadisi dari poliisocyanat dan polialkohol. Dengan langkah reaksi terlihat pada Gambar 2-3.

2.3 Filler

Filler merupakan bahan padat pengisi liner yang berfungsi memperkuat liner (*reinforce*), memperbaiki sifat mekanis dari liner (seperti: meningkatkan kekerasan), meningkatkan ketahanan erosi, menurunkan pembentukan asap pada saat operasional roket dan dapat juga berperan sebagai komponen yang memperlambat liner turut terbakar di ruang bakar (*flame retardant*).

Filler untuk termoplastik dan termoset kemungkinan adalah material inert dimana bertindak menurunkan *resin cost* dan menaikkan proses atau menahan panas pada reaksi *termosetting* eksotermis. Contoh dari beberapa *filler* adalah serbuk kayu, tanah liat, *talca*, *sand*, *mica*, dan butiran kaca. *Mica* juga bisa digunakan sebagai modifikasi antara sifat elektrikal polimer dan penahan panas. Partikel *filler* lainnya bisa juga digunakan untuk menurunkan *mold shrinkage* atau untuk mengurangi muatan elektrostatik. Yang termasuk ke dalam jenis *filler* ini adalah grafit, *carbon black*, serbuk aluminium, logam atau serat lapisan logam.



Gambar 2-3: Reaksi antara HTPB dan TDI membentuk Poliuretan

Penambahan filler berguna untuk menaikkan beberapa sifat-sifat mekanik seperti modulus, *tensile* atau *tear strength*, ketahanan abrasi, dan *fatigue strength*. Contoh, *filler* seperti *carbon black* atau *silica* secara luas digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan ketahanan abrasi dari elastomer komersial.

Filler yang baik adalah yang bersifat *inert* terhadap komponen lain dalam liner, tidak mudah terbakar, dan memiliki luas permukaan spesifik yang luas. Pada umumnya, *filler* terdiri dari setidaknya campuran dua komponen. *Filler* yang biasa digunakan untuk liner antara lain: *carbon fiber*, *fiber cloth*, *aramid fiber*, borat, metal borat, seng borat, oksida logam, alumina trihidrat, TiO_2 , dan SiO_2 .

Adapun beberapa *filler* yang sering digunakan pada roket propelan padat adalah:

- *Coolants fillers: oxalates, carbonates, ammonium compounds.*
- *Flame retardant fillers: phosphates, chalcogenates, silica.*
- *Refractory fillers: zirconium oxide, titanium dioxide, alumina oxide.*
- *Melt of char forming fillers : boron oxide.*
- *Low density fillers: phenol resins (hardablatives).*
- *Glow suppressants: antimonyoxide.*
- *Hydrated fillers for transpirational cooling : boric acid.*

2.4 Zirconium Silikat ($ZrSiO_4$)

Zircon adalah mineral dengan berbagai macam warna. Dengan rumus kimia $ZrSiO_4$ (Zirconium Silikat),

memiliki kemampuan mendispersikan cahaya sehingga kelihatan berkilauan. Mineral utama yang mengandung unsur zirconium adalah zircon/zirkonium silika ($ZrO_2.SiO_2$) dan baddeleyit/zirconium oksida (ZrO_2). Zirconium silikat sangat stabil pada suhu tinggi, dan memiliki ketahanan termal yang sangat baik, konduktivitas termal yang rendah, dan merupakan senyawa *inert*. Zirconium silikat biasanya digunakan dalam industri keramik, kimia dan *alloy*.

3 METODOLOGI

Untuk pembuatan sampel, pertama dicampurkan HTPB: TDI dengan perbandingan 12:1 lalu diaduk selama 10 menit. Kemudian dicampurkan $ZrSiO_4$ sebanyak 5 dan 10% dari berat HTPB: TDI, masing-masing ukuran partikel 40, 100 dan 170 mesh. Setelah diaduk dan tercampur rata, sampel di *vacum* dan dimasukkan ke dalam sampel pan dan dipanaskan dalam oven selama 4,5 jam dengan suhu $70^\circ C$. Karakterisasi yang diuji adalah Uji konduktivitas termal menggunakan Konduktometer QTM 500 menggunakan Probe PD 11 untuk pengukuran standard nilai K dari 1-0,01 W/mK.

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Liner adalah material elastomer yang digunakan sebagai perekat antara propelan dan tabung roket. Selain berfungsi sebagai perekat, liner juga berfungsi sebagai material penahan panas yang melindungi tabung roket dari semburan gas panas yang dihasilkan oleh pembakaran propelan. Tidak cukup

hanya liner saja, untuk menunjang sifat tersebut diperlukan penambahan material insulator agar sifat termal liner menjadi jauh lebih baik.

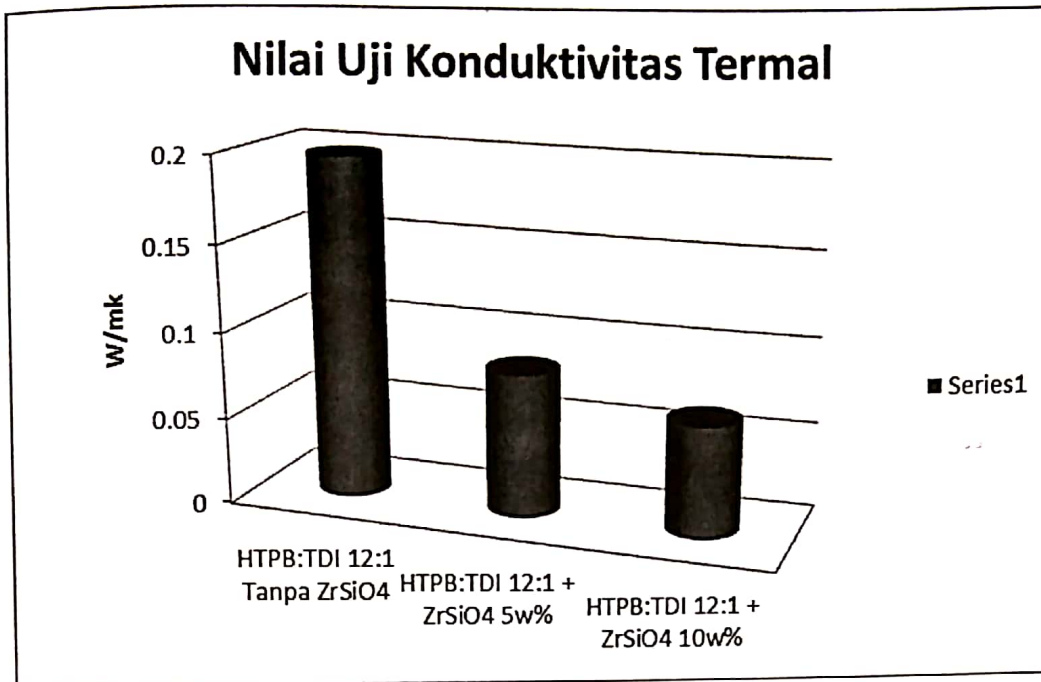
Nilai konduktivitas termal sangat dipengaruhi oleh penambahan material insulator (*filler*) pada liner. Material insulator yang digunakan harus memiliki konduktivitas termal yang rendah, yang dapat secara maksimal menahan rambatan panas yang dihasilkan oleh pembakaran propelan ke tabung roket. Hasil pengujian konduktivitas termal liner dapat dilihat pada Tabel 4-1. Dari hasil uji konduktivitas termal yang ada pada Tabel 4-1 dapat dilihat bahwa nilai konduktivitas termal turun secara signifikan dengan adanya penambahan $ZrSiO_4$. Dari perbedaan komposisi dan ukuran partikel *filler* juga sedikit mempengaruhi nilai konduktivitas termal. Semakin banyak komposisi *filler* maka semakin rendah nilai konduktivitas termalnya. Begitu juga dengan ukuran partikel, semakin kecil ukuran partikel maka nilai konduktivitas termal akan semakin kecil. Ini disebabkan karena semakin kecil ukuran partikel maka semakin besar pula luas permukaan bidang kontak, sehingga semakin menghambat aliran panas pada liner. Lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4-1.

Penurunan nilai konduktivitas termal terlihat sangat signifikan setelah ditambahkan material insulator $ZrSiO_4$. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa kehadiran *filler* $ZrSiO_4$ sangat berpengaruh terhadap sifat hantaran panas pada liner. Dilihat dari sifat-sifatnya, $ZrSiO_4$ stabil pada suhu tinggi karena memiliki titik leleh di atas $1540^\circ C$. Dengan tingginya titik leleh $ZrSiO_4$ sangat cocok digunakan sebagai material insulator (penahan panas) roket.

Syarat liner sebagai penahan panas roket, minimal memiliki konduktivitas termal di bawah $10 W/mK$. Dari syarat tersebut, liner HTPB-TDI sudah sangat memenuhi syarat sebagai material penahan panas roket. Tetapi alangkah baiknya nilai konduktivitas termal liner yang kita peroleh tersebut makin mendekati angka nol. Karena semakin kecil nilai konduktivitas termal (semakin mendekati nol) maka material tersebut semakin bagus digunakan sebagai material penahan panas. Karena semakin kecil nilai konduktivitas termal maka material tersebut akan berfungsi maksimal dalam menghambat aliran panas dari hasil pembakaran propelan ke tabung roket sehingga tabung jadi lebih terlindungi dari panas.

Tabel 4-1: HASIL UJI KONDUKTIVITAS TERMAL

No.	Sample	Konduktivitas Termal (W/mK)
1.	HTPB:TDI 12:1 Tanpa $ZrSiO_4$	0,1974
2.	HTPB:TDI 12:1 + $ZrSiO_4$ 10w% 40 mesh	0,0667
3.	HTPB:TDI 12:1 + $ZrSiO_4$ 10w% 100 mesh	0,0651
4.	HTPB:TDI 12:1 + $ZrSiO_4$ 10w% 170 mesh	0,0643
5.	HTPB:TDI 12:1 + $ZrSiO_4$ 5w% 40 mesh	0,0841
6.	HTPB:TDI 12:1 + $ZrSiO_4$ 5w% 100 mesh	0,0838
7.	HTPB:TDI 12:1 + $ZrSiO_4$ 5w% 170 mesh	0,0833



Gambar 4-1: Grafik Nilai Konduktivitas Termal Liner

5 KESIMPULAN

Dilihat dari hasil analisa nilai konduktivitas termal dapat diambil kesimpulan bahwa $ZrSiO_4$ dapat digunakan untuk menurunkan nilai konduktivitas termal yang juga dipengaruhi oleh persentase dan ukuran partikel, dimana semakin banyak persentase $ZrSiO_4$ dan semakin kecil ukuran partikel maka semakin kecil nilai konduktivitas termal yang dihasilkan. Penambahan filler $ZrSiO_4$ (Zirconium Silikat) yang berfungsi sebagai material insulator pada liner HTPB memberikan konduktivitas termal yang sangat baik dengan memberikan penurunan nilai konduktivitas termal yang sangat signifikan dan hampir mendekati nol yaitu sekitar 0,06 W/mK. Nilai konduktivitas termal liner HTPB dengan filler $ZrSiO_4$ ini jauh lebih kecil apabila dibandingkan dengan nilai konduktivitas termal liner yang biasa digunakan LAPAN yaitu epoksi dengan nilai konduktivitas termalnya mencapai sekitar 0,22 W/mK.

DAFTAR RUJUKAN

- Hepburn, C., 1982. *Polyurethane Elastomers*. England: Applied Science Publishers Ltd, Barking Essex.
- Lozano, Francesc Madrid, 2005. *Thermal Conductivity and Specific Heat Measurements for Power Electronics Packaging Material*. Barcelona: Centre Nacional de Microelectronica.
- Olsen, J. Staun, Gerward, L, Marques, M, Florez, M, & Recio, J.M., 2006. *Structure and Stability of $ZrSiO_4$ Under Hydrostatic Pressure*, PHYSICAL REVIEW B 74 014104.
- Shih Liang Huang, Po Hsueh Chang, Mei Hui Tsai, & Huang Chen Chang, 2006. *Properties and Pervaporation Performances of Crosslinked HTPB-Based Polyurethane Membranes*. China: Department of Chemical and Material Engineering, National Chin-yi Institute of Technology.