

PENGARUH PENAMBAHAN ZIRKONIUM SILIKAT TERHADAP SIFAT MEKANIK LINER HTPB

Oleh:
Aprilia Erryani*
Geni Rosita*

Abstrak

Liner adalah material elastomer yang digunakan sebagai perekat dan insulator 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 melekat kuat pada liner. Komposisi liner yang digunakan pada penelitian ini adalah Hydroxyl-terminated polybutadiene (HTPB) sebagai resin polimer dan Toluene Diisocyanat (TDI) sebagai curing agennya. 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 sifat mekanik, termal, densitas dan viskositas. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan filler $ZrSiO_4$ dapat meningkatkan sifat mekanik liner.

Kata kunci : komposisi liner, propelan

Abstract

Liner is an elastomer material used as adhesives and coatings insulator or heat shield between the propellant and rocket tubes. Liner material suitable for use in rocket motor liner component similar to the propellant for solid propellant can glue on liners. The composition of liner used in this study is hydroxy-terminated polybutadiene (HTPB) as the polymer resin and Toluene diisocyanate (TDI) as curing agent. Comparison of the composition of HTPB and TDI used was 12:1. To improve the properties of the liner then added filler material plays an important role as an insulator. In this study filler used is Zirconium Silicate ($ZrSiO_4$). An investigation of the influence of filler addition $ZrSiO_4$ on solid propellant rocket liner material with filler composition of 10% and 5% weight variation of the particle 40, 100 and 170 mesh. Liner properties tested were the mechanical properties, thermal, density and viscosity. The results of this study indicate that the addition of filler $ZrSiO_4$ to improve the mechanical properties of liner.

Key words : liner composition, propellant

1. PENDAHULUAN

Liner adalah material elastomer yang digunakan sebagai perekat dan insulator 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 melekat kuat pada liner. Umumnya liner memiliki komponen yang sama dengan propelan hanya saja tanpa kandungan oksidator. Komponen liner diharapkan memiliki resin curable polimer dan curative yang sama dengan binder propelan.

Saat ini LAPAN menggunakan propelan berbahan dasar HTPB (Hydroxyl-terminated polybutadiene) tetapi menggunakan liner berbasis epoxy. Untuk memastikan kecocokan dan bagus nya 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 sekarang ini dengan TDI (Toluene Diisocyanat) 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

*Peneliti Pusat Teknologi Roket LAPAN

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 $ZrSiO_4$ (Zirconium Silikat). $ZrSiO_4$ merupakan filler non carbon 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 thermal 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. Untuk kerja dari sebuah motor roket, hal vital yang paling penting 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.

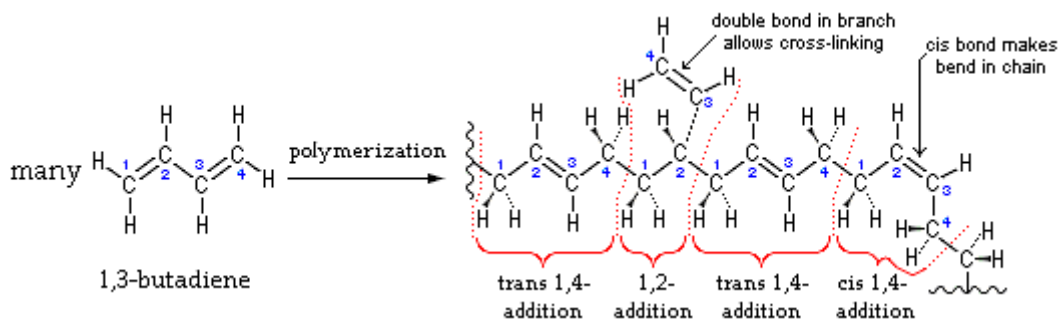
Material liner yang digunakan sebaiknya sama dengan sistem binder dari bahan baku propelan itu sendiri. Karena untuk memastikan kecocokan dan bagus nya daya ikat antara propelan dan liner. Sistem binder yang sering digunakan sebagai bahan baku propelan adalah material polimer butadiene misalnya carboxyterminated polibutadiene 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 polibutadiene maka curing agentnya dapat berupa poliisosiyanat.

Poliisosiyanat yang sering dipakai sebagai curing agent adalah IPDI (isophorone diisocyanate), DDI (dimeryll diisocyanate), TDI (Toluene Diisocyanate), HDI (Hexametylene diisocyanate) dan NDI (Naphtalene diisocyanate).

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

Hydroxyl-terminated polybutadiene (HTPB) adalah polimer butadiene yang ditermintasi oleh gugus fungsional hidrosil pada setiap ujungnya. HTPB masuk ke dalam kelas polimer polyol. Biasanya HTPB direaksikan dengan TDI (toluene diisocyanat) untuk membentuk polyurethane, material sintetis yang stabil dan mudah disimpan.(Fordham, 1980)

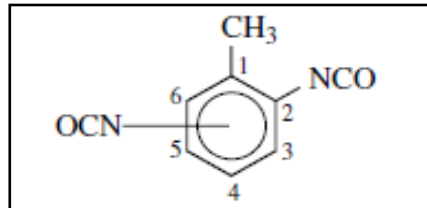


Gambar 2. 1 : Struktur Molekul HTPB

HTPB berupa cairan bening yang kental. Properti HTPB tidak pernah bisa dijelaskan secara tepat karena HTPB biasanya dibuat dengan kelas yang berbeda-beda tergantung spesifikasi yang diminta oleh user.

HTPB digunakan secara luas pada aplikasi seperti: perekat, binder, pelapis yang tahan air dan anti korosi, elastomer dll. 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 Tg dari polibutadiena. Dengan kata lain, pada suhu kamar sifat-sifat mekanik dari polibutadiena seperti tensile strength, abrasion dan tear resistance tidak setinggi polieter dan poliester.

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

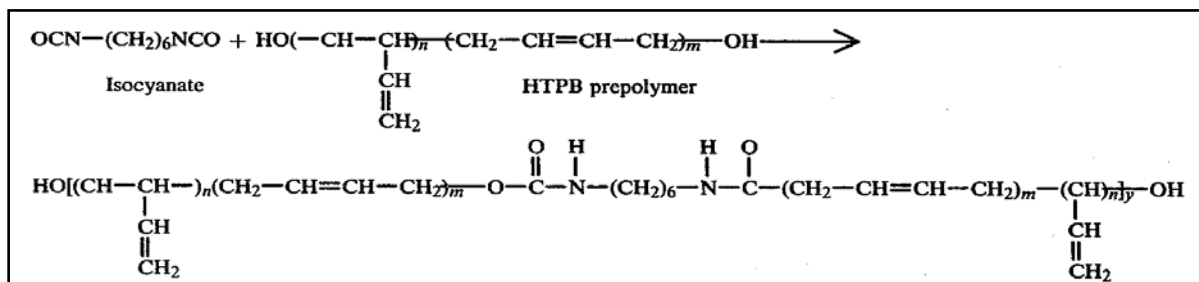


Gambar 2. 2 : Struktur Molekul TDI

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. TDI merupakan senyawa berwujud cairan tak berwarna, mempunyai titik didih 120°C (pada 10 mmHg). Sifat Kimia TDI memiliki rumus molekul C₉H₆N₂O₂, berat molekul 174,15 gr/mol.

Apabila HTPB dicampur dengan TDI akan membentuk polimer organik yaitu sejenis polyurethane, 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 isosianat (-N=C=O) dengan gugus hidroksil/alkohol (OH). Poliuretan terbentuk oleh reaksi poliadisi dari poliisocyanat dan polialkohol. Dengan langkah reaksi sebagai berikut:



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

2.3 Filler

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, talc, sand, mica, dan butiran kaca. Mica juga bisa digunakan sebagai modifikasi antara sifat elektrik 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.

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.

Kandungan fiber dalam komposit polimer berkisar antara 10% hingga 80% dari berat total. Bentuk filler fiber yang paling umum adalah E-Glass, merupakan tipe yang digunakan untuk memperkuat termoset, seperti poliester (unsaturated) dan epoxy resins. E-Glass adalah boroaluminosilicate glass yang memiliki kandungan logam alkali rendah dan mengandung sedikit CaO dan MgO. Untuk aplikasi khusus, seperti pembuatan material penerbangan, fiber dari boron, Kevlar® (aramid, poliamida aromatik), dan terutama karbon atau grafit, yang lebih disukai. Fiber karbon dan grafit diamati dengan pirolisis dari material organik seperti polyacrylonitrile (PAN), Rayon atau pitch. Sifat mekanik tertinggi yang diamati dengan orientasi fiber pada suhu 3000°C (graphit fiber).

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 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, TiO₂, dan SiO₂.

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

- Coolants fillers : oxalates, carbonates, ammonium compounds.
- Flame retardant fillers : phosphates, chalogenates, 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 (ZrSiO₄)

Zircon adalah mineral dengan berbagai macam warna. Dengan rumus kimia ZrSiO₄ (Zirconium Silikat), memiliki kemampuan mendispersikan cahaya sehingga kelihatan berkilauan. Mineral utama yang mengandung unsur zirconium adalah zircon/zirkonium silika (ZrO₂.SiO₂) dan baddeleyit/zirconium oksida (ZrO₂). Kedua mineral ini dijumpai dalam bentuk senyawa dengan hafnium. Pada umumnya zircon mengandung unsur besi, kalsium, sodium, mangan, dan unsur lainnya yang menyebabkan warna zircon menjadi bervariasi, seperti putih bening hingga kuning, kehijauan, coklat kemerahan, kuning kecoklatan dan gelap.

Zirconium silicat biasanya ditemukan dalam bentuk mineralnya, yaitu ilmenite, rutile, leucocoxene, monazite and garnet dalam berbagai variasi proporsinya, rata-rata 1,4-3 %. Zirconium silicat sangat stabil pada suhu tinggi, dan memiliki ketahanan thermal yang sangat baik, konduktivitas thermal yang rendah, dan merupakan senyawa inert. Zirconium silicat biasanya digunakan dalam industri keramik, kimia dan alloy.

3. METODOLOGI

Untuk pembuatan sampel uji, pertama dicampurkan HTPB : TDI dengan perbandingan 12:1 lalu diaduk selama 10 menit. Kemudian dicampurkan ZrSiO₄ sebanyak 5 dan 10% dari berat HTPB : TDI, masing-masing ukuran partikel 40, 100 dan 170 mesh. Setelah diaduk dan tercampur rata, sampel di vacuum dan dimasukkan ke dalam sample pan dan di panaskan dalam oven selama 4,5 jam dengan suhu 70°C. Karakterisasi yang diuji adalah

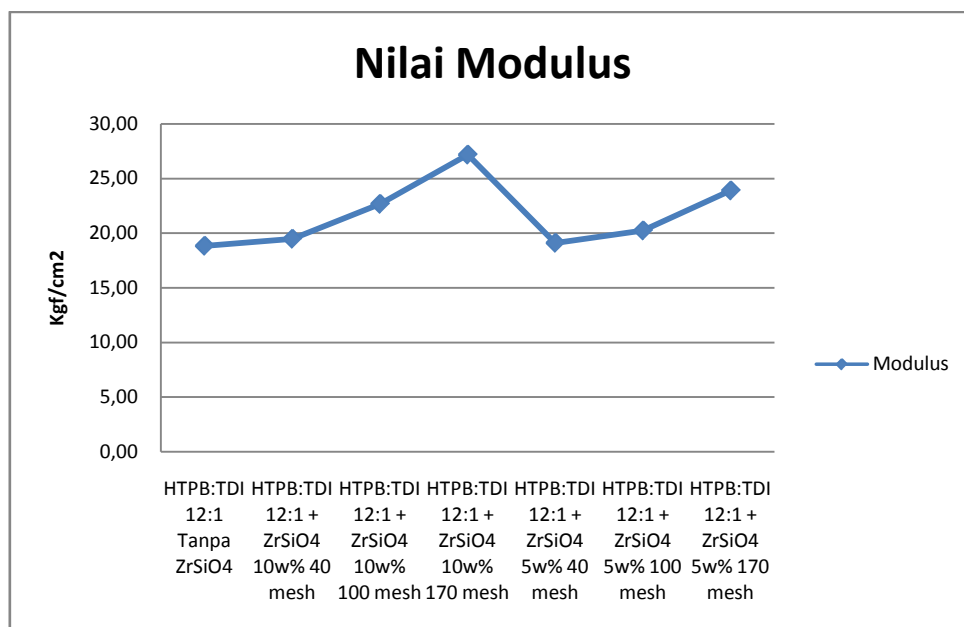
- Uji kuat tarik menggunakan mesin uji TENSILON UTM-III-100
- Uji kekerasan menggunakan Durometer Type A dengan skala Shore
- Uji Rekat menggunakan mesin uji TENSILON UTM-III-100

4. HASIL PERCOBAAN DAN PEMBAHASAN
4.1. HASIL Uji Kuat Tarik

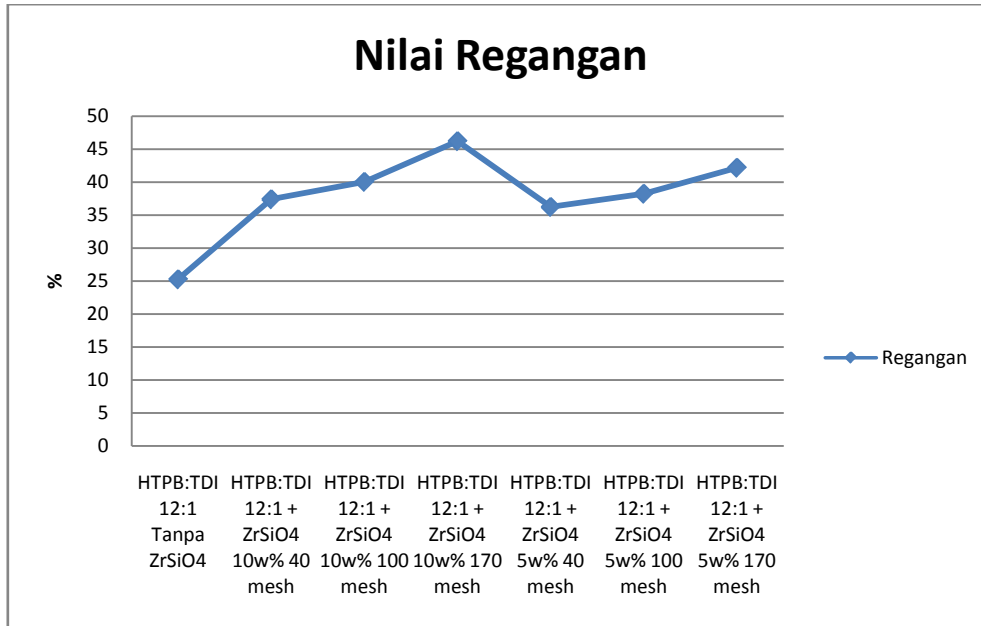
Tabel 4.1. Hasil Uji Kuat tarik

No	Sample	Modulus Kg/cm ²	Regangan(%)	Kuat tarik Kg/cm ²
1	HTPB:TDI 12:1 Tanpa ZrSiO ₄	18,83	25,27	5,24
2	HTPB:TDI 12:1 + ZrSiO ₄ 10w% 40 mesh	19,47	37,40	5,56
3	HTPB:TDI 12:1 + ZrSiO ₄ 10w% 100 mesh	22,67	40,03	6,24
4	HTPB:TDI 12:1 + ZrSiO ₄ 10w% 170 mesh	27,18	46,20	7,67
5	HTPB:TDI 12:1 + ZrSiO ₄ 5w% 40 mesh	19,10	36,23	5,42
6	HTPB:TDI 12:1 + ZrSiO ₄ 5w% 100 mesh	20,23	38,23	5,74
7	HTPB:TDI 12:1 + ZrSiO ₄ 5w% 170 mesh	23,89	42,17	6,36

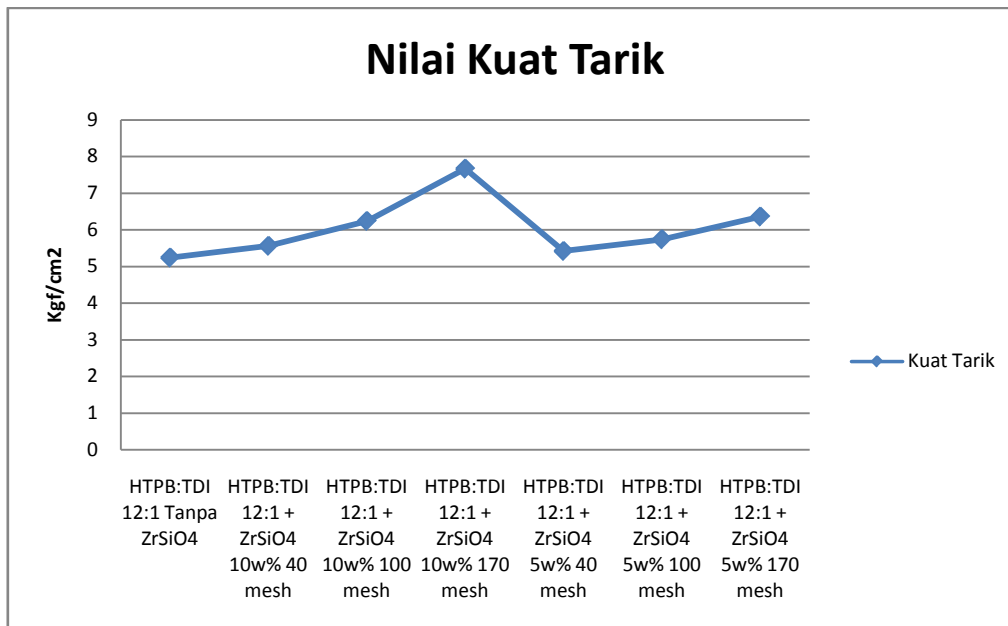
Dari hasil uji kuat tarik, regangan dan modulus yang disajikan pada tabel 4.1 dapat dilihat bahwa dengan penambahan aditif ZrSiO₄ akan meningkatkan kuat tarik, regangan dan modulus dibanding tanpa penambahan filler. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik 4.1, 4.2 dan 4.3 dibawah ini.



Grafik 4.1 : Nilai Modulus Sampel Liner



Grafik 4. 2 : Nilai Regangan Sampel Liner



Grafik 4. 3 : Nilai Kuat Tarik Sampel Liner

Bertambahnya nilai modulus, regangan dan kuat tarik karena penambahan filler $ZrSiO_4$ terlihat tidak begitu signifikan. Kenaikan ini disebabkan karena rongga udara pada liner tanpa $ZrSiO_4$ lebih banyak dibanding liner yang telah diisi filler $ZrSiO_4$. Meskipun telah di vacuum, namun gelembung udara sedikit masih tersisa. Disini terlihat bahwa filler berfungsi mengisi rongga-rongga udara yang banyak terbentuk pada liner sehingga kemungkinan sisa gelembung udara setelah di vacuum semakin kecil. Rongga udara sangat berpengaruh terhadap kekuatan tarik liner, semakin banyak gelembung udara yang terperangkap dalam liner maka kekuatan tarik semakin kecil. Dari tabel juga dapat dilihat bahwa semakin kecil ukuran partikel filler akan meningkatkan kuat tarik liner. Ini dikarenakan makin kecil ukuran partikel akan menyebabkan luas permukaan bidang kontak antar partikel semakin besar sehingga sulit untuk bergeser jika ditarik. Syarat untuk material liner, semakin elastis dan semakin tinggi kuat tarik sebuah bahan maka semakin bagus bahan tersebut digunakan sebagai material liner. Dengan bagusnya elastisitas dan kuat tarik, akan lebih melindungi tabung dari resiko penanganan ataupun guncangan yang ditimbulkan oleh pembakaran propelan.

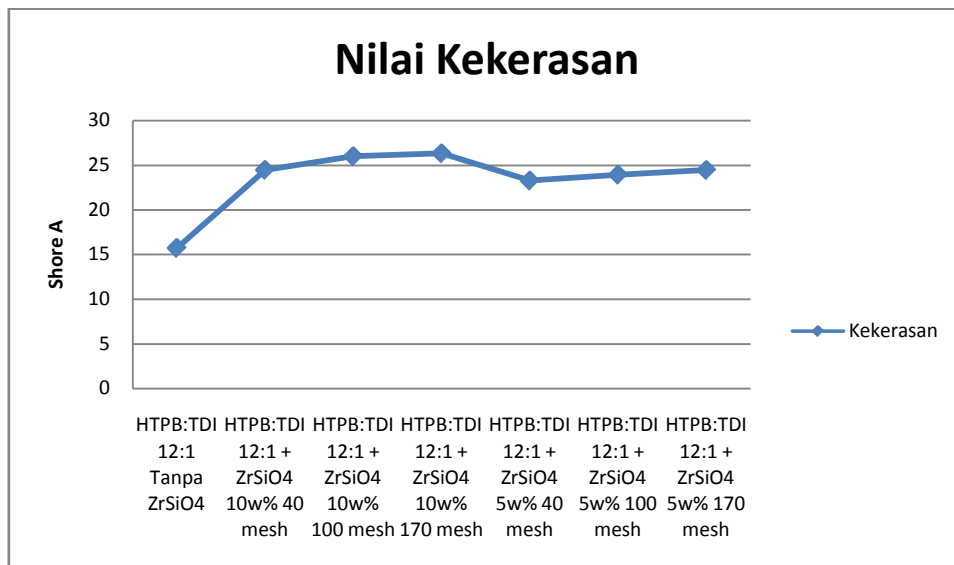
4.2. Hasil Uji Kekerasan

Uji kekerasan dilakukan untuk mengetahui besarnya ketahanan liner terhadap tekanan yang dihasilkan oleh pembakaran propelan. Proses pembakaran propelan pada roket akan menghasilkan trust atau gaya dorong yang cukup besar sehingga diperlukan ketahanan yang cukup kuat. Data hasil uji kekerasan dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Hasil Uji Kekerasan

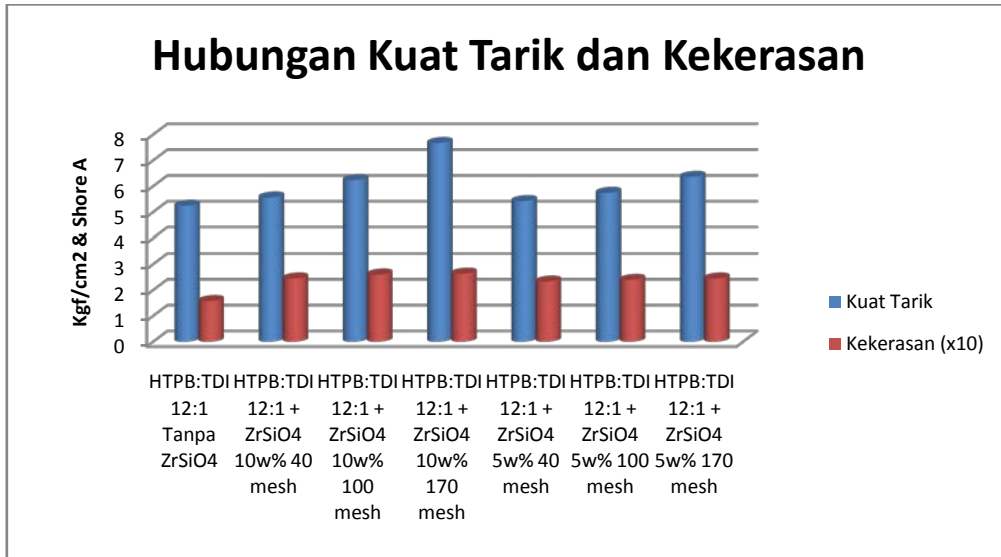
No	Sample	Kekerasan (Shore A)
1	HTPB:TDI 12:1 Tanpa ZrSiO ₄	15,73
2	HTPB:TDI 12:1 + ZrSiO ₄ 10w% 40 mesh	24,47
3	HTPB:TDI 12:1 + ZrSiO ₄ 10w% 100 mesh	26,00
4	HTPB:TDI 12:1 + ZrSiO ₄ 10w% 170 mesh	26,33
5	HTPB:TDI 12:1 + ZrSiO ₄ 5w% 40 mesh	23,27
6	HTPB:TDI 12:1 + ZrSiO ₄ 5w% 100 mesh	23,93
7	HTPB:TDI 12:1 + ZrSiO ₄ 5w% 170 mesh	24,46

Dari data uji kekerasan yang disajikan pada tabel 4.2 dapat dilihat bahwa dengan penambahan filler ZrSiO₄ maka kekerasan liner semakin meningkat. Begitu juga dengan jumlah dan ukuran partikel filler, semakin banyak jumlah filler dan semakin kecil ukuran partikelnya maka kekerasan liner semakin meningkat. Kenaikan nilai kekerasan terhadap jumlah dan ukuran partikel filler dapat dilihat pada grafik 4.4 dibawah ini



Grafik 4.4 : Nilai Uji Kekerasan Sampel Liner

Apabila dibandingkan, uji kekerasan pada hasil percobaan memiliki kecenderungan yang mirip dengan hasil uji kuat tariknya. Hubungan kuat tarik dengan kekerasan propelan dapat dilihat grafik 4.5 dibawah ini:



Grafik 4.5 : Hubungan Kekerasan dan Kuat Tarik Sampel Liner

Dari grafik dapat dilihat bahwa kekerasan liner meningkat dengan bertambahnya kuat tarik. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada dasarnya kuat tarik merupakan tegangan maksimum yang dialami oleh material pada deformasi plastis, sedangkan kekerasan merupakan ketahanan dari lapisan permukaan material untuk melawan deformasi plastis sehingga kedua sifat tersebut mempunyai kecenderungan yang sama.

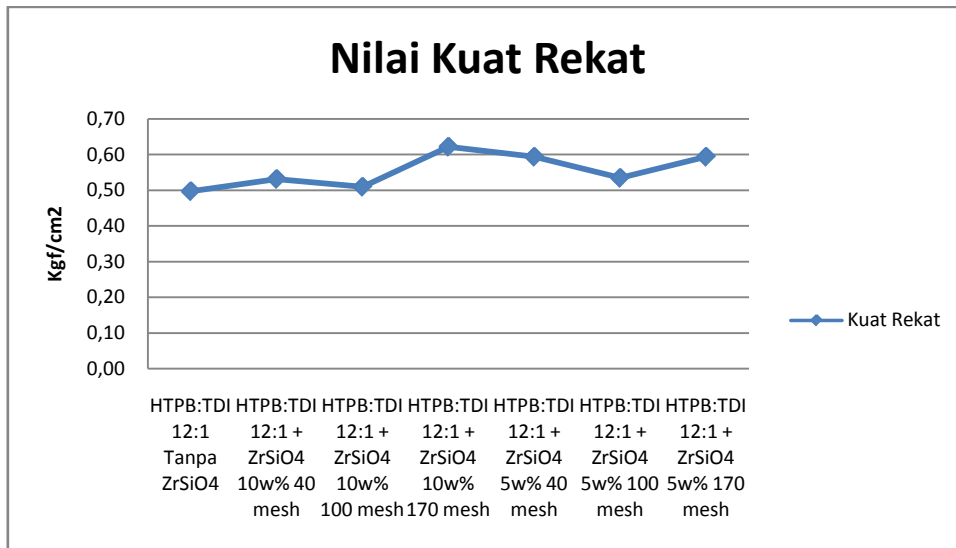
4.3 Hasil Uji Rekat

Kekuatan rekat diukur untuk mengetahui daya rekat yang dihasilkan liner baik kekuatan rekat terhadap propelan ataupun tabung roket. Kekuatan rekat adalah sifat yang sangat penting yang harus dimiliki liner, karena kekuatan rekat itu sendiri adalah fungsi utama dari liner. Liner harus memiliki kekuatan rekat yang cukup tinggi. Apabila kekuatan rekat liner kecil dan propelan mudah lepas dari tabung roket, maka akan membuat posisi propelan turun dan merusak rangkaian motor roket yang sudah disusun di dalam tabung. Data hasil pengujian kekuatan rekat dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Hasil Uji Kuat Rekat

No	Sample	Kuat Rekat (Kg/cm ²)
1	HTPB:TDI 12:1 Tanpa ZrSiO ₄	0,50
2	HTPB:TDI 12:1 + ZrSiO ₄ 10w% 40 mesh	0,53
3	HTPB:TDI 12:1 + ZrSiO ₄ 10w% 100 mesh	0,51
4	HTPB:TDI 12:1 + ZrSiO ₄ 10w% 170 mesh	0,62
5	HTPB:TDI 12:1 + ZrSiO ₄ 5w% 40 mesh	0,59
6	HTPB:TDI 12:1 + ZrSiO ₄ 5w% 100 mesh	0,53
7	HTPB:TDI 12:1 + ZrSiO ₄ 5w% 170 mesh	0,59

Dari hasil uji rekat yang ada pada tabel 4.3 dapat dilihat bahwa perbedaan kekuatan rekat sampel liner yang ditambahkan filler dengan liner tanpa ditambahkan filler tidak jauh berbeda. Begitu juga dengan perbedaan komposisi dan ukuran partikel filler tidak mempengaruhi kekuatan rekat liner. Kekuatan rekat liner berada pada kisaran 0,5 - 0,6 Kg/cm² yang terlihat pada grafik 4.6



Grafik 4.6 : Nilai Kekuatan Rekat Sampel Liner

Dari grafik dapat dilihat bahwa penambahan filler dan ukuran partikel filler tidak memberi pengaruh pada kekuatan rekat. Ini dikarenakan bahwa kekuatan rekat liner berasal dari HTPB - TDI yang merupakan basic liner tersebut. Sesuai dengan teorinya, 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. Variasi hasil uji rekat yang diperoleh kemungkinan dikarenakan proses pengolesan liner pada propelan yang kurang merata. Walau bagaimanapun ini tidak begitu berpengaruh terhadap hasil uji rekatnya.

5. KESIMPULAN

Dapat disimpulkan bahwa dari hasil pengujian mekanik terhadap sampel liner HTPB-TDI dengan ditambahkan filler Zirkonium Silikat dapat meningkatkan sifat mekanik liner baik dengan bertambahnya komposisi ataupun ukuran partikelnya. Semakin besar jumlah Zirkonium silikat yang ditambahkan dan semakin kecil ukuran partikel maka sifat mekanik liner semakin meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- Hepburn, C. *Polyurethane Elastomers*.: Applied Science Publishers Ltd, Barking Essex .England. 1982
- Navele, S.B., Sriraman, S., Wani, V.S., Manohar, M.V & Kakade, S.D. *Effect of Additives on Liner Properties of Case-bonded Composite Propellants*. Defence Science Journal Vol. 54 No.3. 2004.
- Olsen, J. Staun, Gerward, L, Marques, M, Florez, M, & Recio, J.M. *Structure and stability of ZrSiO₄ under hydrostatic pressure*, PHYSICAL REVIEW B 74 014104. . 2006
- Rodic, Vesna. *Case Bonded System for Composite Solid Propellants*. Scientific Technical Review, Vol.LVII, No.3-4. 2007