

PENGARUH STRUKTUR SENYAWA DIISOSIANAT TERHADAP SIFAT MEKANIK PROPELAN

Afni Restasari, Retno Ardianingsih, Luthfia Hajar Abdillah
Pusat Teknologi Roket
LAPAN Rumpin Bogor 021-75790037, 021-75790383
Pos El : afnichemist@gmail.com

Abstrak

Karakteristik propelan sangatlah tergantung pada jenis bahan penyusunnya, salah satunya adalah jenis curing agent. Curing agent yang biasa digunakan adalah senyawa diisocyanat yang sifatnya dipengaruhi oleh struktur kimianya. Pengetahuan terhadap efek struktur kimia diisocyanat terhadap sifat mekanik poliuretan dibutuhkan untuk pembuatan propelan yang lebih baik. Dalam penelitian ini, dilakukan perbandingan viskositas terhadap poliuretan berbahan HTPB/curing agent 11:1 dengan variasi curing agent TDI, IPDI dan TDI/IPDI 7:3, 5:5 serta 3:7. Selain itu, perbandingan modulus tarik, % elongasi dan kuat tarik terhadap poliuretan HTPB dengan curing agent TDI, IPDI dan H₁₂MDI juga dilakukan. Diketahui bahwa cincin benzena, cabang metil dan kelinearan struktur menyebabkan urutan diisocyanat dari yang paling menyebabkan tingginya kuat tarik dan modulus tarik adalah TDI, H₁₂MDI dan IPDI. Berat molekul menyebabkan urutan diisocyanat dari yang paling menyebabkan besarnya %elastisitas H₁₂MDI, IPDI dan TDI. TDI, IPDI, TDI/IPDI 3:7, 5:5 dan 7:3 merupakan urutan diisocyanat dari yang paling menyebabkan rendahnya viskositas oleh karena reaktifitas.

Kata kunci : Propelan padat, sifat mekanik, diisocyanat

Abstract

Propellant's characteristics depend on its component's types, such as curing agent. Generally, diisocyanate compounds that its properties depend on its chemical structure, are used as curing agents. Knowledges about the effect of diisocyanate's chemical structures to polyurethane's mechanical properties are need to be known to produce better propellant. In this research, the viscosity comparison of polyurethanes that contents HTPB/curing agent 11:1 and curing agent TDI, IPDI, TDI/IPDI 7:3, 5:5 and 3:7 are done. The comparison of Young Modulus, % elongation and tensile strength of HTPB polyurethanes with TDI, IPDI and H₁₂MDI as curing agents are also done. Its known that benzene ring, methyl branch and molecule's linearity affect TDI, H₁₂MDI and IPDI as a sequence of curing agent from the biggest effect in increasing Young Modulus and tensile strength. H₁₂MDI, IPDI and TDI are a sequence of curing agents from its biggest effect to % elasticity because of its molecular weight. TDI, IPDI, TDI/IPDI 3:7, 5:5 and 7:3 is a sequence of curing agents from its biggest effect in increasing viscosity because of its reactivity.

Keywords: Solid propellant, mechanical properties, diisocyanate

1. PENDAHULUAN

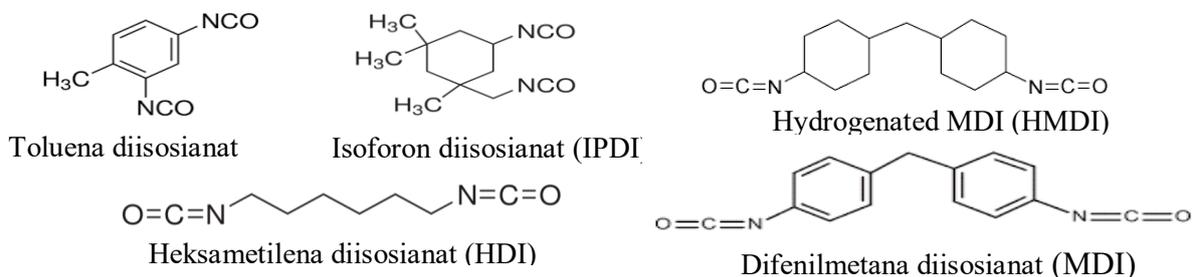
Propelan padat adalah padatan penggerak roket yang dapat terbakar dengan ketiadaan oksigen di alam. Salah satu jenisnya adalah propelan heterogen yang mana kandungan bahan bakar dan *oxidizer* tidak terhubung dengan ikatan kimia sehingga membutuhkan *binder* atau pengikat [1]. HTPB (*Hydroxy Terminated Polybutadiene*) ialah *binder* yang marak digunakan oleh karena memiliki kemampuan memproduksi energi yang tinggi ketika dibakar, serta viskositas dan *specific gravity* yang rendah sehingga menguntungkan dalam proses pengadukan dan pemuatan padatan [2].

Salah satu aspek penting dalam pembuatan propelan adalah viskositas propelan yang dipengaruhi viskositas polimer pembentuknya. Diharapkan viskositas *slurry* propelan setelah dicampur *curing agent* cukup baik untuk proses *casting*, tidak terlalu tinggi dan tidak terlalu rendah, sehingga menghasilkan penyebaran partikel yang homogen dan mencegah adanya pori pada padatan propelan. Laju peningkatan viskositas pun diharapkan tidak terlalu cepat dan tidak terlalu lama. Laju yang terlalu cepat menyulitkan proses *casting* dan laju yang terlalu lama akan mengakibatkan lamanya waktu *curing* sehingga terjadi pemborosan listrik.

Salah satu faktor yang menentukan viskositas polimer adalah jenis *curing agent* dan struktur kimianya [2]. *Curing agent* yang sering digunakan adalah senyawa diisocyanat. Hal ini karena poliuretan

2.3. Senyawa Diisosianat

Senyawa diisosianat adalah senyawa yang mengandung dua gugus isosianat. Senyawa ini terbagi menjadi aromatic, seperti Difenilmetana diisosianat (MDI) dan Toluena diisosianat (TDI) dan alifatik, seperti Heksametilena diisosianat (HDI), 4,4-Disikloheksilmetana diisosianat (H₁₂MDI) dan Isoforon diisosianat (IPDI). Struktur senyawa tersebut dapat dilihat pada Gambar 2-2.



Gambar 2-2 Struktur Senyawa – Senyawa Diisosianat [7].

Karakteristik yang penting dari senyawa diisosianat adalah struktur rantai utama, prosentase kandungan NCO dan viskositas. Adanya cabang metil dalam struktur diisosianat dapat merusak simetri dan kristalisabilitas diisosianat sehingga menyebabkan penurunan modulus tarik pada poliuretan. Sementara itu, kesimetrian dan kekakuan senyawa diisosianat menyebabkan peningkatan kuat tarik dan modulus tarik. Penyebab kekakuan pada senyawa diisosianat adalah cincin aromatis yang terkandung dalam rantai utamanya. Cincin ini juga menyebabkan diisosianat aromatic lebih reaktif daripada alifatik [8].

3. METODE

Pengukuran kuat tarik, % elastisitas dan modulus tarik dilakukan terhadap poliuretan berbahan HTPB dengan variasi TDI, IPDI dan H₁₂MDI pada temperatur 55⁰ C. Kemudian gel point diukur dengan menggunakan alat gelation timer pada temperatur 60⁰ C dengan zat aditif 1,2,4-Butanatriol trinitrat (BTTN), Butana-1,4-diol (nDB), Trimetilolpropana (TMP), dan Ferric asetilasetonat (FeAA) sebagai katalis *curing* [9].

Poliuretan untuk pengukuran viskositas berbahan HTPB / curing agent 11:1 dengan variasi curing agent meliputi TDI saja yang dilakukan LAPAN, IPDI saja, TDI/IPDI 7:3, 5:5 dan 3:7. HTPB dan curing agent diaduk selama 10 menit kemudian diukur viskositasnya saat t = 0, 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam dan 5 jam [2].

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran kuat tarik, % elastisitas, modulus young dan *gel point* terhadap poliuretan dengan variasi *curing agent* dilakukan untuk mengetahui pengaruh jenis *curing agent* terhadap sifat poliuretan tersebut. Hasil pengukuran tersebut disajikan pada Tabel 4-1 berikut.

Tabel 4-1 Pengaruh Jenis *Curing Agent* terhadap Karakteristik Poliuretan.

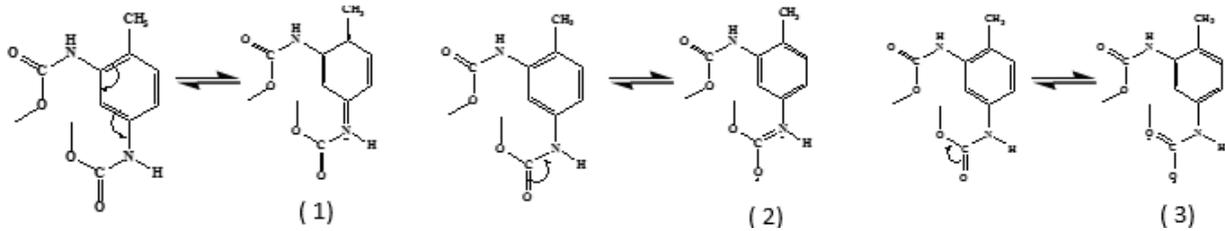
<i>Curing agent</i> (NCO:OH=1)	Kuat tarik (kg/cm ²)	% Elastisitas	Modulus Young (kg/cm ²)	Gel point pada 60 ⁰ C (jam)
TDI	92	19	546	7.5
IPDI	74	198	214	45.2
H ₁₂ MDI	88	225	252	27.2

(Sumber : Debdas et al, 2015)

Berdasarkan Tabel 4-1, urutan diisosianat dari yang paling besar menghasilkan kuat tarik adalah TDI, H₁₂MDI dan IPDI. Urutan ini sama dalam hal modulus tarik yang merupakan ukuran kekakuan suatu bahan. Linieritas rantai poliuretan yang disebabkan oleh kesimetrisan, ada tidaknya cabang dan

cincin aromatis pada senyawa isosianat menjadi penyebabnya [6]. IPDI memiliki 3 cabang metil sehingga tidak dapat tersusun rapat dalam poliuretan dan menempati volume yang besar sehingga massa jenis poliuretan rendah. Hal ini menyebabkan rendahnya kuat tarik dan modulus tarik poliuretan berbahan IPDI [8]. Sementara, H₁₂MDI memberikan kontribusi yang lebih baik daripada IPDI karena struktur kimia yang simetris dan tidak memiliki cabang metil. Namun, efek yang diberikan H₁₂MDI lebih rendah daripada TDI yang memiliki cincin aromatis.

Cincin aromatis yang memiliki struktur yang besar, datar dan kaku membatasi rotasi terhadap rantai utama sehingga meningkatkan kekakuan molekul. Efek ini semakin besar ketika cincin aromatik beresonansi. Gambar 4-1 memperlihatkan struktur resonansi yang mungkin dari poliuretan berbahan TDI.

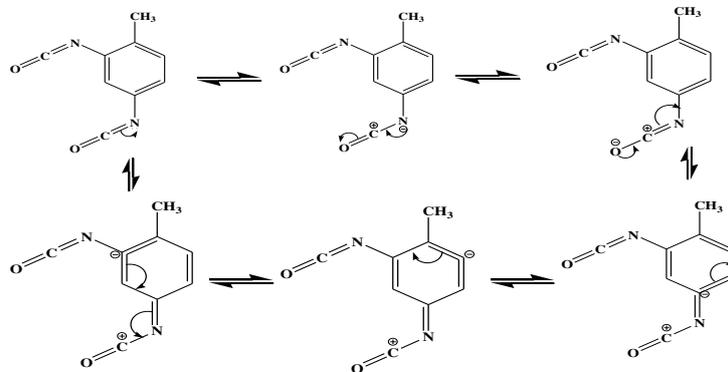


Gambar 4-1 Resonansi Poliuretan Berbahan TDI [6]

Sementara, urutan diisosianat dari yang memberikan pengaruh paling rendah terhadap % pemanjangan poliuretan pada data di Tabel 3-1 adalah H₁₂MDI, IPDI dan TDI. Hal ini disebabkan oleh berat molekul diisosianat yang mana H₁₂MDI sebesar 252 g/mol, IPDI 221 g/mol dan TDI 174 g/mol. Semakin besar berat molekul poliuretan, semakin besar % pemanjangan hingga batas tertentu [6].

Selain kuat tarik, % elastisitas dan modulus young, tabel 4-1 juga menyajikan perbandingan *gel point*. *Gel point* merupakan titik yang mana viskositas poliuretan mencapai level tidak dapat lagi mengalir [9]. Semakin singkatnya *gel point* menunjukkan laju peningkatan viskositas yang semakin cepat. Hal ini berakibat pada pendeknya *pot life*. Urutan diisosianat dari yang menyebabkan *pot life* poliuretan paling lama adalah IPDI, H₁₂MDI, dan TDI. Hal ini disebabkan oleh kereaktifan atom karbon pada gugus isosianat, N=C=O.

Semakin positif muatan parsial atom karbon tersebut, semakin reaktif gugus isosianat terhadap serangan nukleofil [10]. IPDI kurang reaktif dibanding H₁₂MDI karena salah satu gugus isosianatnya terikat pada karbon yang mengikat 2 atom hidrogen. Muatan parsial positif atom hidrogen tersebut dapat mengurangi muatan parsial negatif pada atom nitrogen sehingga mengurangi pula kepositifan muatan parsial atom karbon pada gugus isosianat, N=C=O. Sementara, TDI dapat memperpendek *pot life* poliuretan karena memiliki cincin aromatis yang dapat mendistribusikan muatan negatif dari nitrogen sehingga mengurangi pergantian elektron lanjutan pada atom karbon gugus isosianat selama terjadi resonansi. Struktur resonansi yang mungkin pada gugus isosianat dan cincin benzena TDI dapat dilihat pada Gambar 4-2 berikut.



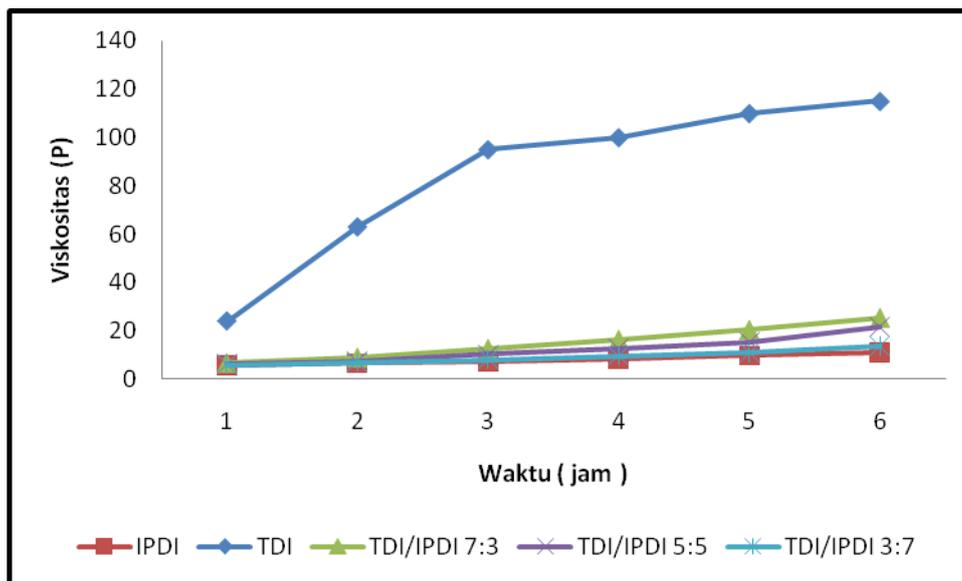
Gambar 4-2 Struktur Resonansi TDI [11].

Pengkajian penelitian di atas memberikan petunjuk bahwa penggunaan TDI akan menyebabkan propelan memiliki kuat tarik dan modulus tarik yang tinggi, namun berpot life singkat. Sedangkan penggunaan IPDI akan menyebabkan propelan berpot life lama namun memiliki kuat tarik dan modulus tarik yang rendah. Sementara, H₁₂MDI memberikan efek yang sedang. Efek jenis diisosianat diisosianat yang demikian menginspirasi penelitian mengenai penggunaan campuran dua curing agent pada pembuatan propelan (sistem bicuring agent) dengan berbagai rasio untuk memperoleh sifat yang lebih baik. Tabel 4-2 dan Grafik 4-1 memperlihatkan efek penggunaan TDI saja yang dilakukan oleh LAPAN, IPDI saja dan campuran TDI/IPDI 7:3, 5:5 dan 3:7 terhadap viskositas poliuretan [2].

Tabel 4-2 Pengaruh Bicuring Agent terhadap Viskositas Poliuretan

Waktu (jam)	Curing Agent				
	TDI	IPDI	Bicuring agent TDI : IPDI		
			7 : 3	5 : 5	3 : 7
0	24	5.6	6.81	6.26	6.03
1	63	6.45	9.06	7.28	6.96
2	95	7.23	12.72	10.4	8.16
3	100	8.16	16.45	12.8	9.48
4	110	9.68	20.46	15.6	11
5	115	11	25.43	21.8	13.65

(Sumber :LAPAN, Jawalkar et al, 2007)



Gambar 4-3 Grafik Pengaruh Bicuring Agent terhadap Viskositas Poliuretan

Pada Tabel 4-2 dan Gambar 4-3, viskositas propelan berbahan TDI/IPDI 7:3, 5:5 dan 3:7 berada diantara viskositas propelan berbahan TDI saja dan IPDI saja. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan bicuring agent mempengaruhi pot life propelan. Pada penelitian tersebut setelah 4 jam, propelan berbahan IPDI dan TDI/IPDI 7:3 masih ideal untuk casting karena di bawah 16 kP. Namun, penggunaan IPDI dilaporkan tidak mendukung integritas grain propelan untuk case bonded motor rocket, sehingga penggunaan bicuring agent TDI/IPDI 7:3 dapat menjadi pilihan yang lebih baik [2]. Penelitian lebih lanjut diperlukan terhadap campuran TDI dan H₁₂MDI, IPDI dan H₁₂MDI, maupun campuran ketiganya dengan berbagai rasio untuk didapatkannya propelan dengan pot life, kuat tarik, modulus tarik dan % elongasi yang lebih baik.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

1. Urutan senyawa diisosiyanat dari yang kuat tarik dan modulus tarik poliuretannya paling tinggi adalah TDI, H₁₂MDI dan IPDI oleh karena keberadaan cincin benzene, cabang metil dan kesimetrisan strukturnya.
2. Urutan senyawa diisosiyanat dari yang % pemanjangan poliuretannya paling tinggi adalah H₁₂MDI, IPDI dan TDI yang mana dipengaruhi oleh berat molekulnya.
3. Urutan senyawa diisosiyanat dari yang pot life poliuretan serta paling rendah adalah TDI, H₁₂MDI dan IPDI oleh karena kepositifan atom karbon dalam gugus isosiyanatnya.
4. Penggunaan bicuring agent mempengaruhi viskositas dan *pot life* poliuretan.

5.2. SARAN

Diperlukan penelitian lebih lanjut terhadap campuran TDI dan H₁₂MDI, IPDI dan H₁₂MDI, maupun campuran ketiganya dengan berbagai rasio untuk didapatkannya propelan dengan *pot life*, kuat tarik, modulus tarik dan % elastisitas yang lebih baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Teknologi Roket Drs.Sutrisno, M.Si, Kepala Bidang Propelan Dr. Heru Supriyatno, M.Eng atas sarana dan prasarana Lab yang menunjang terlaksananya penelitian ini. Juga tak lupa kami sampaikan kepada Koordinator penelitian di Lab. Komposisi Dasar Drs. Kendra Hartaya, M.Si yang telah memberikan bimbingan ilmiah dan arah dari penulisan makalah ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Kuo, Kenneth K and R. Acharya, “*Applications of Turbulent and Multiphase Combustion*”, New Jersey : John Wiley & Sons, Inc. 2012.
- 2) Jawalkar, S.N.; Mehilal; R. Kurva; P.P. Singh; B. Bhattacharya, “*Influence of Bicuring on Processibility of Composite Propellant*”, Defence Science Journal Vol. 57 No. 5, September 2007, p : 669 – 675.
- 3) Mahanta, A. K and D. D. Pathak, “*HTPB-Polyurethane : A Versatile Fuel Binder for Composite Solid Propellant*”, Intech, 2012 [Http://dx.doi.org/10.5773/47995](http://dx.doi.org/10.5773/47995); download Juli 2015
- 4) Dombé, Ganesh; M. Jain; P.P. Singh; K.K. Radhakrishnan; B. Bhattacharya, “*Pressure Casting of Composite Propellant*”, Indian Journal of Chemical Technology, Vol. 15, July 2008, p : 420 – 423.
- 5) Odian, George, “*Principles of Polymerization*”, 4th Edition, Canada : John Wiley & Sons, Inc. 2004.
- 6) Szycher, Michael, “*Szycher`s Handbook of Polyurethanes*”, 2nd edition, Boca Raton : CRC Press, Taylor & Francis Group, LLC. 2013.
- 7) Daniel, Merran A, “*Polyurethane Binder Systems for Polymer Bonded Explosives*”, Edinburg : Weapons Systems Division, Defence Science and Technology Organisation. 2006.
- 8) Haeruddin, “*Sintesis dan Karakterisasi Poliuretan dari Polietilen Glikol (PEG) dengan Toluene Diisosiyanat (TDI)*”, Bandung : Master Theses JBPTITBPP, ITB. 2008.
- 9) Debdas, Vaibhav S.; Shrikant M.; Bhim S., “*An Energetic Binder for the Formulation of Advanced Solid Rocket Propellants*”, Central European Journal of Energetic Materials, ISSN 2353-1843, 12(1), 2015. p : 145-158.
- 10) Efstathiou, Kypros, “*Synthesis and Characterization of a Polyurethane Prepolymer for the Development of A Novel Acrylate-based Polymer Foam*”, Budapest : Budapest University of Technology and Economics. 2008.
- 11) Fessenden, R. J and J. S. Fessenden, “*Fundamental of Organic Chemistry*”, 4th Edition, Canada : Harper Collins Ltd. 1990.