

PENGARUH DISTRIBUSI FUNGSIONALITAS POLIMER TERHADAP SIFAT MEKANIK POLIURETAN BERBASIS HTPB

(POLYMER FUNCTIONALITY DISTRIBUTION EFFECT ON MECHANICAL PROPERTIES OF POLYURETHANE BASED HTPB)

Heri Budi Wibowo

Pustekroket Lapan

Rumpin Bogor

Pos El : heribw@gmail.com, heri.budi@lapan.go.id

Abstrak

Salah satu penggunaan HTPB adalah sebagai bahan baku poliuretan. Parameter spesifikasi HTPB haruslah menjamin dapat menghasilkan produk poliuretan yang standar. Fungsi rata-rata yang digunakan sebagai parameter kontrol kualitas HTPB tidak dapat menjelaskan perbedaan sifat mekanik poliuretan yang terbentuk. Berdasarkan mekanisme pembentukan kopolimerisasi radikal, maka terdapat kemungkinan HTPB yang tidak memiliki fungsionalitas untuk menghasilkan poliuretan. Penelitian ini bertujuan untuk meneliti sejauhmana pengaruh distribusi fungsionalitas terhadap sifat mekanik poliuretan yang dihasilkan, sehingga diharapkan dapat digunakan sebagai parameter kontrol kualitas HTPB. Penelitian dilakukan dengan membuat HTPB yang berbeda fungsionalitasnya menggunakan polimerisasi radikal butadiene menggunakan katalisator hydrogen peroksida. Variable penelitian adalah suhu reaksi (160-200 °C). HTPB diukur fungsionalitas rata-rata dan distribusinya. HTPB yang diperoleh kemudian dibuat poliuretan dengan mencampur toluene diisocyanat pada perbandingan NCO/OH adalah satu pada suhu 45°C kondisi vakum selama 1 jam, kemudian diperam pada suhu kamar selama satu minggu. Poliuretan yang dihasilkan diukur kuat tarik dan elongasinya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa HTPB dengan fungsionalitas rata-rata yang sama dapat menghasilkan sifat mekanik yang berbeda karena distribusi fungsionalitasnya berbeda. Perubahan distribusi fungsionalitas dapat berkontribusi merubah sifat mekanik poliuretan yang dihasilkan sampai 12,5%. Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa distribusi fungsionalitas HTPB layak digunakan sebagai parameter dalam menentukan spesifikasi HTPB untuk kepentingan kontrol kualitas.

Kata kunci : fungsionalitas, distribusi fungsionalitas, HTPB, poliuretan.

Abstract

One use of HTPB is as a raw material of polyurethane. Parameter specifications must guarantee HTPB can produce polyurethane products are standard. Average functionality which is used as a quality control parameter HTPB can not explain the differences in the mechanical properties of the polyurethane is formed. Based on the mechanism of formation of radical copolymerization, it is possible HTPB who do not have the functionality to produce polyurethanes. This study aims to investigate the extent of the influence of the distribution of the functionality of the mechanical properties of the resulting polyurethane, which is expected to be used as a quality control parameter HTPB. Research done by creating different HTPB functionality using butadiene radical polymerization using hydrogen peroxide catalyst. Variable research is the reaction temperature (160-200 °C). HTPB measured average functionality and distribution. HTPB polyurethane obtained is then made by mixing toluene diisocyanat the ratio NCO / OH is at 45°C under vacuum for 1 hour, then cured at room temperature for one week. The resulting polyurethane measured tensile strength and elongation. The results show that HTPB with an average functionality of the same can produce different mechanical properties due to the distribution of different functionality. Changes in the distribution of functionality can contribute to changing the mechanical properties of polyurethane which sihasilkan to 12.5%. The results also showed that the functionality distribution of HTPB is used as a parameter in determining HTPB specifications for the sake of quality control.

Keywords : functionality, functionality distribution, HTPB, polyurethane.

1. PENDAHULUAN

HTPB merupakan salah satu bahan baku utama yang digunakan sebagai fuel binder propelan komposit. HTPB bersama dengan TDI akan membentuk elastomer poliuretan yang menjadi binder propelan. Untuk dapat digunakan sebagai binder propelan, maka poliuretan harus memiliki sifat mekanik baik. Dalam rangka menghasilkan binder standar, maka diperlukan kontrol kualitas dengan

melakukan control terhadap spesifikasi HTPB sehingga dapat dihasilkan poliuretan yang standar. Biasanya, parameter utama yang digunakan untuk spesifikasi HTPB sebagai bagian dari control kualitas adalah bilangan OH, fungsionalitas rata-rata, berat molekul rata-rata dan distribusi berat molekul, konfigurasi struktur, dan kemurniannya. Parameter-parameter tersebut ternyata tidak dapat menerangkan hasil pengamatan bahwa walaupun parameter-parameter tersebut sudah dibuat sama, namun poliuretan yang dihasilkan ternyata dapat menghasilkan variasi perbedaan sifat mekanik yang cukup besar yaitu 15% [1,2]. Hal tersebut menunjukkan bahwa perlu dicari parameter lain yang memiliki pengaruh besar terhadap sifat mekanik poliuretan sehingga dapat digunakan untuk acuan spesifikasi HTPB dalam rangka control kualitas.

Poliuretan terbentuk dari HTPB yang memiliki gugus hidroksil dengan toluene diisocianat yang memiliki gugus isocianat membentuk gugus uretan. Reaksi polimerisasi berlangsung semakin lama semakin panjang sehingga poliuretan memiliki sifat yang keras. Polimerisasi akan berlangsung semakin panjang jika HTPB memiliki gugus hidroksil di kedua ujungnya dan TDI memiliki gugus isocianat di kedua ujungnya. Idealnya HTPB memiliki fungsionalitas gugus hidroksil dua [3]. Berdasarkan mekanisme polimerisasi radikal terhadap butadiene membentuk polibutadien dengan menggunakan katalisator hydrogen peroksida, maka radikal polimer yang tumbuh dapat berhenti dengan membentuk polibutadien dengan gugus ujung hydrogen, hidroksil, atau kombinasi keduanya [4]. Dengan demikian maka dimungkinkan diperoleh polimer HTPB dengan campuran yang memiliki gugus hidroksil dua, satu, dan tidak memiliki gugus hidroksil tersebut. Namun demikian, untuk kepentingan produksi HTPB, biasanya diambil fungsionalitas rata-rata sebagai dasar menentukan karakteristik reaktifitas HTP [5]. Berdasarkan mekanisme reaksi pembentukan poliuretan, maka adanya polibutadien yang tidak memiliki gugus hidroksil tidak akan membentuk poliuretan rantai lurus karena tidak dapat membentuk gugus uretan, sehingga tidak akan menghasilkan polimer yang lurus. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian pengaruh adanya fungsionalitas yang berbeda tersebut terhadap perubahan sifat mekanik poliuretan yang terjadi.

Dengan penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh fakta apakah distribusi fungsionalitas berpengaruh terhadap perubahan sifat mekanik poliuretan yang dihasilkan. Hasil tersebut diharapkan dapat menjelaskan perbedaan sifat mekanik propelan yang terjadi walaupun fungsionalitas rata-rata sama. Selain itu, hasil penelitian diharapkan dapat menemukan parameter baru yang berpengaruh terhadap sifat mekanik poliuretan yang dihasilkan sehingga dapat ditambahkan ke dalam spesifikasi HTPB yang dibutuhkan untuk menjamin hasil yang standar.

1.1. Mekanisme pembentukan HTPB dan fungsionalitas

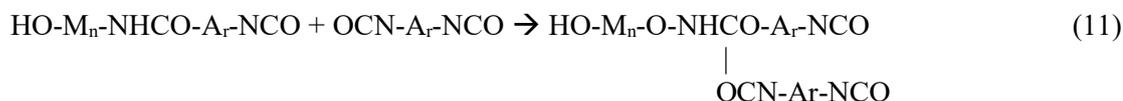
HTPB dihasilkan dari reaksi polimerisasi butadiene. Reaksi polimerisasi dapat dilakukan dengan menggunakan mekanisme radikal menggunakan katalisator hydrogen peroksida (H_2O_2) [5,6]. Mula-mula hydrogen peroksida akan terdekomposisi menghasilkan radikal hidroksil OH^* . Butadiene akan bereaksi dengan radikal hidroksil membentuk monomer radikal MOH^* seperti ditunjukkan pada persamaan (1). Radikal monomer selanjutnya bereaksi dengan monomer lain dan tumbuh terus membentuk radikal M_2OH^* , M_3OH^* , M_4OH^* dan seterusnya sampai membentuk radikal polimer M_xOH^* seperti ditunjukkan pada persamaan (2) – (5). Radikal polimer M_xOH^* dan M_yOH^* selanjutnya akan dapat berhenti beraksi dengan tiga cara, yaitu tumbukan membentuk HTPB berbentuk HOM_xM_yOH , tumbukan membentuk polibutadien dengan gugus ujung OH dan H seperti M_xOH , dan membentuk senyawa tunggal M_xOH seperti ditunjukkan pada persamaan (6)-(7). Dengan demikian, maka hasil polimerisasi butadiene dapat berada dalam campuran polibutadien dengan gugus hidroksil ganda dan tunggal.





1.2. Mekanisme reaksi pembentukan poliuretan

Reaksi HTPB dan TDI membentuk poliuretan terjadi sebagai hasil reaksi kopolimerisasi gugus hidroksil (OH) dari HTPB dengan gugus isocianat (NCO) dari TDI membentuk gugus uretan (NHCO) [7]. HTPB dan TDI memiliki dua gugus aktif pada ujung-ujungnya sehingga dapat bereaksi membentuk uretan sambung-menyambung seperti pada persamaan (8) dan (9). Reaksi HTPB dengan TDI membentuk kopolimer uretan yang memiliki gugus ujung NCO dan OH seperti ditunjukkan pada persamaan (1). Jika kopolimer poliuretan bereaksi dengan HTPB, maka gugus hidroksil HTPB bereaksi dengan gugus NCO membentuk gugus uretan baru seperti pada persamaan (9). Model reaksi tersebut akan membentuk rantai kopolimer yang lurus. Gugus uretan sendiri memiliki tiga gugus aktif yaitu dua isocianat dan satu hidroksil. Kopolimer poliuretan dapat juga bereaksi dengan isocianat membentuk uretan baru hasil reaksi gugus hidroksil dari kopolimer dengan NCO dari TDI seperti ditunjukkan pada persamaan (10). Gugus uretan juga dapat bereaksi dengan NCO dari TDI membentuk gugus karboizida seperti ditunjukkan pada persamaan (11). Persamaan ikatan ini dikenal dengan bentuk ikatan silang karena akan menghasilkan struktur iaktan silang yang memiliki tiga gugus ujung aktif. Ikatan silang merupakan kontributor terhadap sifat kekerasan kopolimer yang terjadi karena akan membuat struktur jaringan.



Berbeda dengan HTPB dengan dua gugus hidroksil, polibutadien dengan satu gugus OH ($f=1$) hanya dapat bereaksi membentuk uretan pada satu ujung saja, selanjutnya tidak dapat tumbuh lagi dari ujung yang satunya. Artinya uretan yang terbentuk hanya bisa tumbuh melalui reaksi dengan gugus isocianat yang dimiliki. Dengan kata lain, ekor kopolimer mati salah satu ujungnya seperti ditunjukkan pada persamaan (12)-(14).



1.3. Karakteristik mekanik poliuretan

Poliuretan terbentuk dari HTPB dan TDI. Sifat mekanik dari poliuretan akan tergantung pada sifat HTPB dan struktur ikatan yang terjadi [8]. Sifat HTPB memiliki karakterisasi yang berbeda tergantung ukuran molekul (panjang rantai), struktur isomernya, serta fungsionalitasnya. Ukuran molekul dapat dibedakan dari berat molekul rata-rata. HTPB dengan berat molekul besar atau rantai polimernya panjang akan memberikan kelenturan semakin besar [9]. HTPB dengan struktur isomer vnyil dominan akan memberikan poliuretan yang keras dan getas, struktur trans dominan akan

memberikan sifat poliuretan yang keras, sedangkan struktur cis yang dominan akan memberikan karakteristik poliuretan yang lebih lentur namun kuat [10]. HTPB dapat membentuk poliuretan yang keras jika memiliki fungsionalitas minimal 1,6. HTPB dengan fungsionalitas di bawah 1,6 akan membuat struktur ikatan silang yang terjadi sangat sedikit dan ukuran molekul kopolimer yang terbentuk akan membentuk poliuretan yang keras [11].

Komposisi HTPB dan TDI juga sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik kopolimer yang dihasilkan [12]. Jumlah HTPB yang berlebih akan memberikan struktur ikatan linier sehingga kopolimer yang terjadi tidak bias menjadi keras, sebaliknya jumlah TDI yang berlebih akan membentuk ikatan silang yang banyak sehingga struktur kopolimer sangat rapat, sifat mekanik yang dihasilkan menjadi keras. Komposisi yang baik untuk HTPB/TDI adalah 0,9-1,1 dimana terjadi ikatan silang yang terbatas dan rantai polimer yang panjang.

2. METODOLOGI

Penelitian dilakukan dengan membuat kopolimer dari HTPB dan TDI yang berbeda fungsionalitas dan distribusi fungsionalitasnya, kemudian diuji sifat mekaniknya meliputi kuat tarik dan elongasi. Perbandingan HTPB/TDI yang digunakan adalah 1,0. Kopolimer dibuat dengan mencampur HTPB dengan TDI dalam autoklaf pada kondisi hampa udara dan suhu 45°C, dalam perbandingan mol HTPB/TDI adalah 1,0. Reaksi dilakukan selama 1 jam, kemudian cairan kental yang terbentuk dituang dalam wadah ukuran 1x1x12 cm, diperam dalam suhu kamar selama 1 minggu, kemudian diuji sifat mekanik (kuat tarik dan elongasi) dengan tensilon LR-200.

Untuk menghasilkan HTPB yang berbeda fungsionalitas dan distribusi fungsionalitasnya, maka dibuat HTPB dengan polimerisasi butadiene menggunakan sistem radikal menggunakan katalisator hydrogen peroksida dalam pelarut alkohol. Reaksi dilakukan pada suhu 180°C pada tekanan 350 psi selama 1 (satu) jam, kemudian hasilnya dipisahkan dengan metode filtrasi toluene dilanjutkan pemisahan dengan air. Hasil yang diperoleh diukur fungsionalitas dan distribusi fungsionalitas dengan sisten titrasi. Untuk mendapatkan HTPB yang berbeda fungsionalitasnya dapat dilakukan dengan mengatur suhu reaksi antara 110-140°C.

HTPB dibuat dengan polimerisasi butadien secara radikal menggunakan katalisator hidrogen peroksida dalam pelarut etanol. Reaksi dilakukan dalam autoklaf kondisi vakum selama 1 jam pada tekanan 350 psi, suhu reaksi antara 120-140°C. Setelah selesai reaksi, kemudian dicuci dengan air hangat dilanjutkan dengan toluene. Hasilnya diuji fungsionalitasnya dan distribusi fungsionalitas dengan titrasi kering.

3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Untuk melihat pengaruh fungsionalitas terhadap kuat mekanik poliuretan, maka poliuretan dibuat dengan menggunakan perbandingan HTPB/TDI sama, yaitu menggunakan rasio seimbang 1:1. Semua parameter lain dibuat tetap (berat molekul rata-rata, struktur isomer). Struktur isomer dipilih yang memiliki 100% trans sehingga menjamin isomer HTPB tetap). Untuk mendapatkan berat molekul yang sama, maka HTPB diambil fraksi yang berat molekulnya 5,000 gram/mol dengan cara fraksinasi dalam kolom pemisahan. TDI yang digunakan memiliki kadar isomer 2,4 100% untuk menjamin tidak mengganggu. Fungsionalitasnya dipilih dari sekian percobaan HTPB yang memiliki fungsionalitas 1,8. Hasil penelitian pengaruh fungsionalitas terhadap sifat kuat tarik poliuretan ditunjukkan pada tabel 3-1. Berdasarkan tabel 3-1 tersebut, nyata bahwa walaupun fungsionalitasnya sama, terdapat beberapa hasil yang kuat tariknya berbeda secara signifikan, yaitu perbedaan di atas 10%. Secara statistik, perbedaan tersebut menunjukkan perbedaan yang signifikan karena pengulangan yang dilakukan relatif banyak. Pengujian secara statistik menunjukkan bahwa tingkat perbedaan rata-rata mencapai 15,2%. Hasil tersebut menunjukkan pola yang sama pada karakter elongasinya.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa ada yang kurang dari pernyataan Flory dimana sifat mekanik dipengaruhi oleh perbandingan HTPB/TDI, struktur HTPB (berat molekul, fungsionalitas, dan isomer HTPB) dan struktur TDI [8]. Pada semua parameter selain fungsionalitas dibuat tetap, perubahan fungsionalitas memberikan hasil sifat mekanik yang cukup signifikan. Dengan demikian dapat diduga bahwa terdapat perbedaan distribusi fungsionalitas atau lainnya yang membuat hasil sifat mekanik yang

berbeda. Hal tersebut didukung dengan pola perbedaan yang mencolok sehingga dapat dikatakan bukan karena kesalahan perhitungan.

Tabel 3-1 Hasil pengujian sifat mekanik poliuretan dengan perbedaan fungsionalitas HTPB

No	fungsionalitas	Kuat tarik (kg/m ²)	Elongasi (%)
1	1,8	12,0	45,8
2	1,8	12,5	45,2
3	1,8	15,2	40,5
4	1,8	11,9	57,1
5	1,8	15,0	40,3
6	1,8	11,8	60,0
7	1,8	11,7	60,0
8	1,8	15,8	40,9
9	1,8	14,1	40,7
10	1,8	14,2	40,2
11	1,8	11,0	57,1
12	1,8	11,3	56,9
13	1,8	14,8	40,7

Berdasarkan teori pembentukan HTPB seperti yang diutarakan oleh Wibowo (2013), bahwa proses pembentukan HTPB akan memberikan dua kemungkinan hasil, yaitu HTPB dengan gugus ujung hidroksil jumlahnya dua atau satu seperti ditunjukkan pada persamaan (8) - (10), maka nilai fungsionalitas HTPB adalah antara 1-2 karena merupakan kombinasi dari HTPB dengan satu gugus ujung hidroksil ($f=1$) dan HTPB dengan dua gugus ujung hidroksil ($f=2$). Pada posisi fungsionalitas HTPB yang digunakan adalah 1,8, maka dapat diperkirakan bahwa perbandingan HTPB yang memiliki dua gugus ujung dengan HTPB yang memiliki satu gugus ujung adalah 2,6. Hasil tersebut dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan perhitungan (15) dimana f_1 adalah jumlah HTPB dengan satu gugus ujung dan f_2 adalah jumlah HTPB dengan dua gugus ujung.

$$f = (f_1 + f_2) / 2 \tag{15}$$

$$f_2 / f_1 = (3,6 - f_1) / f_1 = 3,6 - 1 / 1 = 2,6 \tag{16}$$

Dengan jumlah f_1 sebanyak 1/2,6 kali f_2 atau sebanyak 20%, maka secara logika selama pembentukan poliuretan seperti ditunjukkan pada persamaan (12)-(14) akan banyak kopoliuretan yang tumbuhnya hanya satu arah. Menilik pada mekanisme pembentukan kopoliuretan yang dibuat oleh Flory (1979), maka kecepatan pemanjangan rantai dari HTPB dengan fungsionalitas dua (f_2) akan menjadi lebih cepat dua kalinya daripada senyawa f_1 [3]. Senyawa dengan fungsionalitas dua memiliki dua gugus ujung yang siap bereaksi bersamaan dibandingkan dengan senyawa dengan satu gugus ujung saja. Maka dalam pertumbuhan polimerisasi membentuk uretan, maka senyawa dengan dua gugus ujung akan berkembang menjadi lebih panjang dua kalinya daripada senyawa HTPB dengan satu gugus ujung. Dengan asumsi bahwa kecepatan pembentukan kopoliuretan adalah tetap dan simultan, maka kopoliuretan yang terjadi memiliki kombinasi panjang rantai yang tetap, struktur kopolimer adalah tetap, sehingga karakter poliuretan yang terjadi harusnya sama. Kenyataan bahwa perbedaan sifat mekanik yang berbeda menunjukkan bahwa ada kemungkinan walaupun fungsionalitasnya sama, terdapat senyawa bentuk polibutadien yang memiliki fungsionalitas lebih rendah dari f_1 maupun f_2 .

Menarik diamati proposal dari Fesenden (1998) bahwa dalam suatu reaksi radikal, maka dimungkinkan bahwa suatu radikal hidroksil dapat bergabung dengan radikal hidroksil lain untuk bergabung menjadi suatu radikal baru dengan melepaskan gugus H₂O seperti ditunjukkan pada persamaan (17) [6]. Apabila ini diaplikasikan pada proses polimerisasi, maka persamaan penggabungan radikal tersebut dapat ditambahkan menjadi seperti pada persamaan (18), dimana akan terbentuk MxMy dengan dua gugus ujung adalah hydrogen. Apabila persamaan ini terjadi, maka dimungkinkan memiliki

fungsionalitas nol (f_0). Senyawa polibutadien dengan fungsionalitasnya adalah nol akan tidak bereaksi dengan TDI maupun dengan uretan karena tidak memiliki gugung ujung reaktif. Untuk melihat keberadaan dari polibutadien dengan gugus ujung nol maka dapat dilakukan dengan menggunakan pemisahan kolom menggunakan resin penukar ion, dimana polibutadien tidak memiliki gugus hidroksil sehingga tidak dapat terserap oleh resin tersebut.



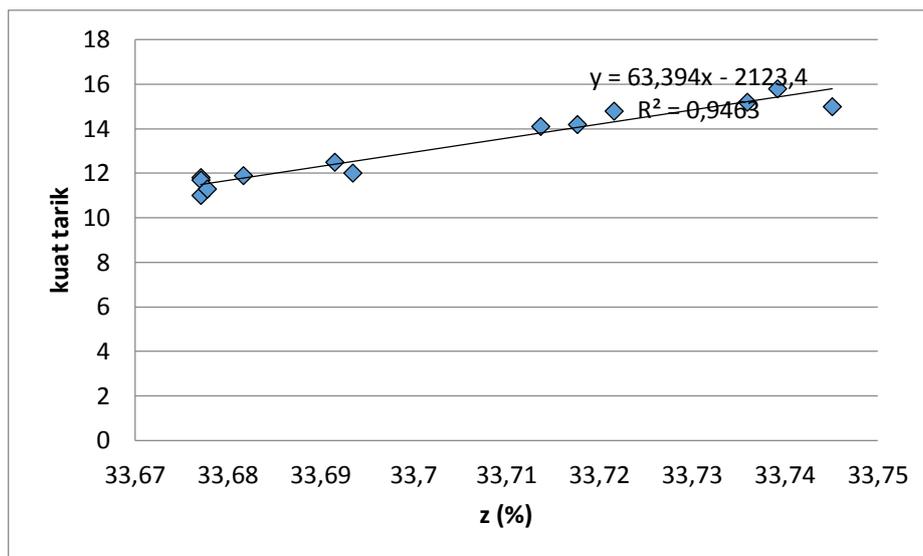
Untuk membuktikan keberadaan senyawa polibutadien yang tidak memiliki fungsionalitas, maka HTPB yang telah dihasilkan dilewatkan ke dalam kolom pemisahan dengan menggunakan resin penukar ion IR-120, hasilnya kemudian dibedakan fraksi-fraksinya. Hasil pengamatan gugus hidroksil dengan menggunakan FTIR menunjukkan bahwa terdapat 5 fraksi dengan kadar hidroksil berbeda. Fraksi ke-5 menunjukkan bahwa tidak terdapat gugus hidroksil di dalamnya. Hal tersebut membuktikan bahwa dimungkinkan terbentuk polibutadien tanpa gugus hidroksil walaupun memiliki kadar yang rendah (5%). Jumlah HTPB dengan gugus hidroksil satu dan dua adalah 95%. Dalam pengamatan ini tidak dapat dibedakan adanya senyawa dengan gugus ujung satu dan dua karena pengamatan menggunakan FTIR dimana dihasilkan jumlah hidroksil total.

Berdasarkan hasil tersebut, maka beberapa HTPB yang terjadi diamati komposisi polibutadien dengan gugus fungsional nol, satu, dan dua. Dengan mengetahui polibutadien yang tidak memiliki gugus ujung hidroksil, maka dapat diketahui distribusi fungsionalitas. Hasilnya dapat ditunjukkan pada tabel 3-2. Ternyata walaupun memiliki fungsionalitas yang sama, jumlah kandungan f_0 , f_1 , dan f_2 adalah berbeda. Sehingga dapat dikatakan bahwa selama pembentukan HTPB, dimungkinkan terbentuk polibutadien tanpa gugus ujung hidroksil.

Tabel 3-2 Distribusi fungsionalitas HTPB

No	fungsionalitas	Kandungan HTPB (%)			z
		f_1	f_2	f_3	
1	1,8	5,4	34,1	60,5	33,69346
2	1,8	5,5	34,2	60,3	33,6915
3	1,8	5,8	26,8	67,4	33,73595
4	1,8	5,0	36,7	58,3	33,6817
5	1,8	4,9	27,2	67,9	33,7451
6	1,8	5,5	36,4	58,1	33,67712
7	1,8	5,6	36,2	58,2	33,67712
8	1,8	5,9	26,1	68,0	33,73922
9	1,8	5,0	31,8	63,2	33,71373
10	1,8	4,7	31,8	63,5	33,71765
11	1,8	4,5	38,4	57,1	33,67712
12	1,8	4,6	38,1	57,3	33,67778
13	1,8	4,6	31,4	64,0	33,72157

Hasil distribusi fungsional tersebut dapat diplotkan dengan sifat mekanik poliuretan, yaitu kuat tarik seperti ditunjukkan pada gambar 3-1. Ternyata perubahan komposisi sangat berpengaruh terhadap sifat mekanik poliuretan. Pengaruh kenaikan polibutadien jenis f_1 sangat kecil terhadap sifat mekanik. Walaupun secara teoritis polibutadien f_1 tidak dapat berpolimerisasi, namun karena jumlahnya cukup kecil maka memiliki pengaruh yang kecil juga, yaitu 5%. HTPB yang sangat besar pengaruhnya terhadap sifat mekanik adalah f_2 dengan 65%, sedangkan HTPB jenis f_2 memiliki pengaruh 30%. Hal ini sesuai dengan banyaknya komponen tersebut. Dengan demikian perubahan komposisi penyusun cukup signifikan dalam memberikan pengaruh terhadap penyimpangan nilai sifat mekanik.



Gambar 3-1 Pola hubungan distribusi fungsionalitas terhadap kuat tarik poliuretan

Berdasarkan hasil tersebut, maka dapat dikatakan bahwa distribusi fungsionalitas memiliki pengaruh cukup besar, yaitu 12,5% terhadap perbedaan sifat mekanik yang ada. Dengan demikian, maka distribusi fungsionalitas harus diperhitungkan dalam pemilihan spesifikasi HTPB yang akan digunakan dalam formulasi pembuatan poliuretan.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa HTPB dengan fungsionalitas rata-rata yang sama dapat menghasilkan sifat mekanik yang berbeda karena distribusi fungsionalitasnya berbeda. Perubahan distribusi fungsionalitas dapat berkontribusi merubah sifat mekanik poliuretan yang dihasilkan sampai 12,5%. Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa distribusi fungsionalitas HTPB layak digunakan sebagai parameter dalam menentukan spesifikasi HTPB untuk kepentingan control kualitas.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada LAPAN yang telah memberikan dana penelitian dan fasilitas untuk tercapainya penelitian ini.

PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi menjadi tanggung jawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Wibowo, H.B., *Struktur Polimer Polibutadien dan Teknik Pengendalian Produksi*, Chemistry Progress, Chem. Prog. Vol 5 No 1, Mei, 2012. ISSN : 1979-5920
- 2) Wibowo, H.B., *Pengaruh Berat Molekul Terhadap Reaksi Pembentukan Poliuretan*, Prosiding SIPTEKGAN XIV-2010, Nopember 2010, ISBN 978-978-1458-08-05
- 3) Wibowo, H.B., *Karakteristik Viskoelastisitas Binder Propelan Komposit Mandiri Berbasis HTPB*, Prosiding SIPTEKGAN XV-2011, November 2011, ISBN 978-979-1458-51-1.
- 4) Sutton, G.P., and Biblarz, O., *Rocket Propulsion Elements*, 9th ed., John Wiley & Son, New York. 2011.
- 5) Fessenden, J, and Fessenden, K., *Organic Chemistry.*, p. 1123, Interscience Publisher, London. 2011.
- 6) Wibowo, H.B., *Kinetika Polimerisasi Butadien Secara Emulsi dengan Inisiator H₂O₂/Fe(II).*, Proceeding Seminar Nasional JNK, Jakarta. 2010.

- 7) Rosita, G, *Pengaruh Komposisi HTPB-TDI terhadap Propelan Mandiri*, Prosiding JASAKIAI, Yogyakarta. 2012.
- 8) Sarner, S.F., *Propellant Chemistry*, Reinhold Publishing Company, New York. 1966.
- 9) Rosita, G, *Karakteristik Viskoelastisitas HTPB-TDI Propelan Mandiri*, Prosiding JASAKIAI, Yogyakarta. 2013.
- 10) Flory, J., *Principles of Polymer Chemistry.*, p. 35, Cornell University Press, London. 1969.
- 11) Lin-Vien, D., Colthup, N.B., Fateley, W.G., and Grasselli, W.G.. *Infrared and Raman Characteristic Frequencies of Organic Molecules.*, Academic Press, San Diego, CA. 2011.
- 12) Randall, D.; Lee, S. *The Polyurethanes Book*. New York: Wiley. 2003. ISBN 978-0-470-85041-1.