

# Pengaruh Temperatur Pengadukan pada CTPB Elastomer Terhadap Viskositas dan Gel Point

Geni Rosita<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Peneliti Pusat Teknologi Dirgantara Terapan, LAPAN

## ABSTRACT

The Elastomer polymerization research of CTPB with MAPO and EPON as curing agents has done. Research conducted with numerous temperatures variation of mixing temperature. Result showed the endotherm reaction, where faster reaction would happen if mixing temperatures increased.

## ABSTRAK

Penelitian polimerisasi kondensasi dari CTPB dengan menggunakan MAPO dan EPON sebagai curing agent telah dilakukan. Penelitian dilakukan dengan variasi temperatur pengadukan. Hasil penelitian menunjukkan reaksi bersifat endoterm, di mana semakin tinggi temperatur reaksi semakin cepat terbentuk.

## 1 PENDAHULUAN

Propelan padat komposit umumnya tersusun atas bahan-bahan fuel, oksidator, binder, curing agent dan aditif. Mutu suatu propelan padat, ditentukan atas dasar tiga sifat, yaitu sifat fisik, sifat mekanik dan sifat balistik.

- Sifat fisik yang berpengaruh langsung pada performance (unjuk kerja) roket adalah berat jenis dan sifat mekanis.
- Sifat mekanis, diukur melalui harga elastisitasnya (% elongation) dan kuat tarik, harga yang dikehendaki untuk elastisitas adalah tinggi, dan untuk kuat tarik adalah rendah.
- Sifat balistik propelan di antaranya adalah harga Impuls spesifik (Isp). Harga Isp tersebut berbanding lurus terhadap temperatur ruang bakar dan berbanding terbalik terhadap BM hasil pembakaran. Maka menurunnya BM atau meningkatnya temperatur ruang bakar akan meningkatkan harga Isp.

Untuk menaikkan Isp, cara yang tepat untuk dikerjakan adalah menaikkan temperatur gas hasil pembakaran. Hal ini dapat ditempuh dengan menaikkan jumlah padatan yang terkandung dalam fuel dan ini merupakan suatu usaha yang selalu diupayakan dalam pembuatan propelan padat.

Penelitian ini bertujuan mempelajari pengaruh temperatur pengadukan pencampuran CTPB, MAPO dan EPON terhadap *gel point* dan *viskositas*.

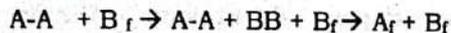
## 2 TINJAUAN PUSTAKA

Polibutadien cair dapat digunakan sebagai bahan bakar roket padat, jika polimer tersebut diubah dari fasa cair menjadi bahan padat oleh pengaruh suatu bahan pematat. Dalam reaksi ini terjadi perubahan fasa dari cair menjadi padat dengan kata lain terjadi perubahan viskositas.

## 2.1 Crosslinking

Polimerisasi antara monomer A-B, monomer  $A_f$  (dimana  $f$  adalah disproporsionasi,  $f > 2$ ) dan B-B akan terbentuk polimer bercabang dan polimer struktur jaring (crosslinking). Cabang dari satu molekul polimer akan sanggup bereaksi dengan molekul polimer lainnya karena adanya reaktan B-B. Sebuah crosslinking dapat dibentuk bilamana ada 2 cabang, yang memiliki dua fungsi yang berbeda pada akhir cabang, yaitu satu mempunyai gugusan A dan lainnya gugusan B (A-B,  $A_f$ , B-B). Dapat juga terbentuk dengan penggunaan reaktan yang mempunyai gugus fungsional lebih dari 2 ( $A_f$ , B-B).

Yang termasuk polimerisasi ini:



Crosslinking ditandai dengan terbentuknya gel pada saat polimerisasi. Saat terbentuknya gel ini disebut *gel point*, hilangnya sifat fluid seperti adanya kegagalan sebuah gelembung udara meninggalkan fluida itu. Gel tidak larut dalam semua solven pada temperatur tinggi di bawah kondisi di mana degradasi polimer tidak terjadi. Gel berhubungan dengan pembentukan rantai jala tak terhingga, di mana molekul-molekul polimer terikat satu dengan lainnya membentuk suatu mikro molekul.

Gel pada kenyataannya dapat dianggap sebagai suatu molekul. Non-gel polimer larut dalam pelarut, maka akan terjadi perubahan fisik selama terjadi proses gelation. Viskositas campuran akan mengalami kenaikan yang besar dan tiba-tiba.

Plastik dengan struktur jala banyak berguna sebagai bahan rekayasa karena mempunyai kestabilan yang baik terhadap kenaikan temperatur dan tekanan, stabil pada bermacam kondisi, karena struktur jala yang kaku/tegar.

Polimer seperti ini tidak mengalir ketika dipanaskan, sehingga dinamakan polimer termoseting atau termoset sederhana. Sedangkan plastik yang lunak

dan mengalir ketika dipanaskan yaitu plastik uncrosslinking dinamakan termosplastik.

Hampir semua produk polimer dengan polimerisasi rantai adalah termosplastik. Hanya beberapa merupakan polimer crosslinking.

## 2.2 Jumlah Ekuivalen dari Reaktan

Untuk mendalami reaksi crosslinking, perlu diketahui hubungan antara gelation dan keberadaan reaksi. Carothers, memperoleh hubungan antara keberadaan reaksi pada titik gel dan fungsionalitas rata-rata  $f_{AVG}$  dari sistem polimerisasi, di mana 2 grup fungsional A dan B ekuivalen.

Fungsionalitas rata-rata campuran monomer adalah jumlah rata-rata grup fungsi pemonomer molekul untuk semua tipe molekul monomer.

$$f_{AVG} = \frac{\sum N_i f_i}{\sum N_i} \dots\dots\dots (2-1)$$

di mana  $N_i$  adalah jumlah molekul monomer  $i$  dengan fungsional  $f_i$  dan penyajian berlaku untuk semua monomer yang ada dalam sistem. Jadi untuk sebuah sistem yang terdiri dari 2 mol (Glycerol (triol)) dan 3 mol Phtalic acid (diacid) terdapat 12 grup fungsional per 5 molekul monomer dan  $f_{AVG}$  adalah  $12,5 = 2,4$ . Untuk sistem yang terdiri dari jumlah equimolar dari Glycerol, Phtalic anhydride, dan monobasic acid, memiliki 6 grup fungsi per 3 molekul dan  $f_{AVG}$  adalah  $6/3 = 2$ .

Sebuah sistem yang terdiri dari jumlah ekuivalen A dan B, jumlah molekul monomer mula-mula  $N_0$ , maka hubungan jumlah total grup fungsional adalah  $N_0 f_{AVG}$ . Jika  $N$  adalah jumlah molekul setelah reaksi terjadi kemudian  $2(N_0 - N)$  adalah jumlah grup fungsi yang bereaksi, maka derajat pertumbuhan reaksi  $p$  adalah fraksi dari grup fungsi yang hilang, dibagi dengan jumlah grup fungsional mula-mula.

$$p = \frac{2(N_o - N)}{N_o \cdot f_{AVG}} \text{ dan } \bar{X}_n = \frac{N_o}{N} \dots\dots (2-2)$$

sehingga,

$$p = \frac{2}{f_{AVG}} - \frac{2}{\bar{X}_n f_{AVG}} \dots\dots\dots (2-3)$$

Persamaan (2-3) sering disebut sebagai persamaan Carothers, hubungan derajat pertumbuhan reaksi dengan derajat polimerisasi untuk fungsional rata-rata sistem.

Konsekuensi penting persamaan (2-3) adalah batas bentuk pada titik gel di mana jumlah rata-rata tingkat polimerisasi menjadi tidak berhingga, sehingga derajat pertumbuhan tingkat reaksi kritis  $p_o$  pada titik gel diberikan oleh persamaan,

$$p = \frac{2}{f_{AVG}} \dots\dots\dots (2-4)$$

Persamaan (2-4) dapat digunakan untuk menghitung keberadaan reaksi yang diperoleh untuk daerah permulaan gelation dalam campuran reaksi monomer dari fungsi rata-rata. Untuk campuran Glycerol-Phtalic Acid (2:3), akan mempunyai harga derajat pertumbuhan kritis sebesar 0,833.

### 2.3 Perluasan Campuran Reaktan Non-Ekivalen

Persamaan (2-3) dan (2-4) digunakan hanya untuk sistem yang terdiri dari campuran stokiometri 2 gugus fungsional berbeda. Untuk campuran non-ekivalen, fungsionalitas rata-rata yang dihitung dengan persamaan (2-1) akan mempunyai harga yang terlalu tinggi. Suatu campuran dari 1 mole Glycerol dan 5 mole Phtalic acid, dengan menggunakan persamaan (2-1), di dalam  $f$  13,6 = 1,17. Lebih lanjut dari persamaan (2-4), crosslinking terjadi pada  $p_c = 0,922$ . Kedua kesimpulan ini kurang tepat.

Polimerisasi berhenti dengan kelebihan grup fungsi asam yang tidak bereaksi. Fungsionalitas rata-rata untuk campuran tidak stokiometri sama dengan 2 x jumlah total dari grup fungsi yang tidak berlebihan dibagi dengan jumlah total untuk semua molekul yang ada.

Perhitungan tingkat polimerisasi (dan crosslinking jika itu dapat terjadi) tergantung pada reaktan yang kurang (habis), kelebihan dari reaktan lainnya tidak digunakan. Untuk campuran non-stokiometri di atas dari 1 mole Glycerol dan 3 mole Phtalic acid, nilai  $f$  terhitung  $9/4 = 2,25$ . Nilai rendah dari  $f_{AVG}$  menunjukkan tingkat polimerisasi yang rendah terjadi dalam sistem.

Dengan cara yang sama, fungsionalitas rata-rata dari campuran non-stokiometri yang terdiri dari lebih 2 monomer dapat ditentukan. Untuk campuran 3 monomer yaitu :  $N_A$  mole dari  $A_A$ ,  $N_C$  mole dari  $A_C$ , dan  $N_B$  mole dari  $A_B$ , dengan fungsionalitas  $f_A$ ,  $f_C$  dan  $f_B$ , di mana  $A_A$  dan  $A_C$  mempunyai gugusan fungsional yang sama (misal A grup), fungsionalitas rata-rata dalam sistem tersebut dapat dihitung dengan,

$$f_{AVG} = \frac{2(N_A f_A + N_C f_C)}{N_A + N_B + N_C} \dots\dots\dots (2-5)$$

atau,

$$f_{AVG} = \frac{2r \cdot f_A f_B f_C}{f_A f_C + r \rho \cdot f_A f_B + r(1 - \rho) f_B f_C}$$

di mana,

$$r = \frac{N_A f_A}{N_B f_B} \dots\dots\dots (2-6)$$

$$\rho = \frac{N_C f_C}{N_A f_A + N_C f_C}$$

$r$  adalah perbandingan dari grup A dan B, mempunyai nilai sama dengan 1 (satu) atau lebih kecil 1 (satu), dan  $\rho$  adalah fraksi untuk semua grup fungsi A yang ada pada reaktan. Untuk  $f_C > 2$  dan  $f_A = f_B = 2$  sesuai persamaan  $A_C + A-A + B-B \rightarrow$ ,

maka persamaan tersebut akan menjadi,

$$f_{AVG} = \frac{4rf_c}{f_c + 2r\rho + rf_c(1-\rho)} \dots\dots\dots (2-7)$$

Dengan mensubstitusikan ke persamaan 2-4, menjadi

$$p_c = \frac{(1-\rho)}{2} + \frac{1}{2r} + \frac{\rho}{f_c} \dots\dots\dots (2-8)$$

Perlu diingat bahwa derajat pertumbuhan  $p_c$  pada gel point menunjukkan derajat pertumbuhan dari gugusan fungsional A. Derajat pertumbuhan gugusan B pada gel point adalah  $p_{pc}$ . Perlu diingat bahwa derajat pertumbuhan  $p_c$  pada gel point menunjukkan derajat pertumbuhan dari gugusan fungsional A. Derajat pertumbuhan gugusan B pada gel point adalah  $p_{pc}$ .

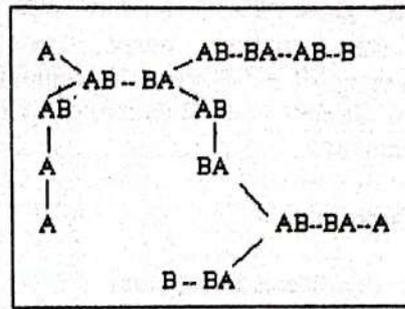
**2.4 Pendekatan Statistik untuk Pembentukan Gel**

Flory dan Stock Meyer menggunakan pendekatan statistik untuk menjelaskan pertumbuhan reaksi pada gel point. Asumsi pendekatan yang digunakan adalah reaktivitas semua grup fungsi untuk tipe yang sama adalah sama dan tidak tergantung dari ukuran molekul, dan tidak ada reaksi intramolekul antara grup fungsi pada molekul sama.

Koefisien cabang  $\alpha$  didefinisikan sebagai kemungkinan gugusan fungsi dari unit cabang pada akhir dari segmen rantai polimer menuju ke unit cabang lainnya. Koefisien kritis cabang  $\alpha$  untuk pembentukan gel, adalah

$$\alpha_c = \frac{1}{f-1} \dots\dots\dots (2-9)$$

$f$  dalam persamaan di atas adalah fungsionalitas dari unit cabang, yaitu monomer dengan fungsionalitas lebih dari 2. Untuk polimerisasi dari  $A_A^A$ , A-A dan B-B akan memberikan struktur seperti Gambar 2-1.



Gambar 2-1 : Struktur polimerisasi dari  $A_A^A$ , A-A dan B-B

Setiap rangkaian unit dwifungsional berakhir atau berujung pada unit percabangan diikuti oleh dua lainnya dan seterusnya. Jika  $\alpha < 1/2$ , maka kemungkinan terbentuk unit percabangan menjadi berkurang dan kemungkinan terbentuknya grup-grup dwifungsional yang tidak bereaksi menjadi bertambah. Dalam hal ini jaringan tidak dapat berlanjut menjadi tak hingga dan semua struktur molekul akan mempunyai ukuran yang tertentu.

Jika  $\alpha > 1/2$ , setiap rantai berada dalam kondisi yang lebih baik dibandingkan kesempatan untuk membentuk dua rantai baru, dan jaringan yang tidak hingga menjadi mungkin. Harga  $\alpha = 1/2$  adalah harga kritis untuk terbentuknya jaringan tak hingga, untuk unit percabangan trifungsional.

Di atas harga kritis, tidak semua molekul membentuk jaringan tak hingga. Sejumlah tertentu tetap ada dalam fasa gel sampai  $\alpha = 1$ .

**3 PERCOBAAN**

**3.1 Bahan dan Alat**

Bahan-bahan yang digunakan, adalah CTPB (Carboxyl Terminated Polibutadiene), MAPO (Distilled Tris (2-Methyl-Ethyleneimine) Phosphin Oxide), EPON (Epoxy Epichlorohidrin Bisphenol A), Premix.

Sedangkan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, adalah Water Bath,

Beaker glass 250 ml dan 500 ml, timbangan analitis, mixer dan rion Viscotester VT - 04, oven, Tensilon/UTM III-100, Jupiter Chyo Balance, gelas ukur dan cetakan.

### 3.2 Cara Kerja

#### 3.2.1 Pemilihan Komposisi

- Mempersiapkan water bath dan mengaturnya pada T 70°C.
- Menimbang beaker glass dan memasukkan secara berturut-turut CTPB, MAPO, EPON ke dalam beaker glass yang tetap berada pada timbangan sesuai dengan perbandingan komposisi berat pada Tabel 3-1.
- Memasukkan beaker ke dalam water bath dan melakukan pengadukan dengan alat mixer pada rpm 500.
- Setelah dua jam campuran dimasukkan ke dalam cetakan kemudian dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam pada T 70°C.
- Percobaan diulang kembali untuk komposisi selanjutnya sampai komposisi ke 9.

Tabel 3-1: DATA KOMPOSISI BERAT UNTUK PEMILIHAN KOMPOSISI (DALAM GRAM)

NO.	CTPB	MAPO	EPON
1.	82,78	11,83	1,73
2.	84,10	9,22	2,91
3.	84,35	6,17	5,83
4.	82,14	12,36	1,95
5.	82,26	10,83	3,41
6.	82,56	7,24	11,22
7.	53,80	40,47	11,22
8.	54,06	35,58	11,22
9.	11,22	24,00	24,00

Dari ke 9 komposisi diambil 5 komposisi yang dapat curing.

#### 3.2.2 Penentuan Gel Point

- Mempersiapkan water bath dan mengaturnya pada T 50°C.
- Menimbang beaker glass dan memasukkan CTPB, MAPO, EPON secara berturut-turut ke dalam beaker glass

yang tetap berada pada timbangan (komposisi berat sesuai Tabel 3-2).

- Memasukkan beaker glass ke dalam water bath dan melakukan pengadukan dengan alat mixer pada rpm 500.
- Selama pengadukan dilakukan pengamatan viskositas dengan alat viscotester setiap setengah jam.
- Alat Viscotester yang telah digunakan, dibersihkan dengan premix sebelum penggunaan selanjutnya.
- Pengadukan dihentikan setelah terjadi kenaikan viskositas yang cukup tinggi.
- Percobaan diulang kembali untuk komposisi selanjutnya sampai komposisi ke 5.
- Percobaan diulang untuk Temperatur pengadukan 60, 65, 70, 80°C.

Tabel 3-2 : DATA KOMPOSISI BERAT UNTUK PENENTUAN GEL POIN (DALAM GRAM).

NO	CTPB	MAPO	EPON
1.	269,06	38,44	5,62
2.	273,30	29,98	9,45
3.	274,13	20,05	18,96
4.	266,96	40,16	6,33
5.	267,36	35,19	11,09

## 4 HASIL PERCOBAAN

### 4.1 Pemilihan Komposisi

Kemampuan pematangan diamati setelah 24 jam dalam oven.

Tabel 4-1: DATA PENGAMATAN KEMAMPUAN PEMATANGAN (CURING)

No	Perbandingan Berat			Kemampuan curing
	CTPB (gr)	MAPO (gr)	EPON (gr)	
1	42	6	1	Dapat
2	24	3	1	Dapat
3	12	1	1	Dapat
4	35	6	1	Dapat
5	20	3	1	Dapat
6	10	1	1	Tidak
7	7	6	1	Tidak
8	4	3	1	Tidak
9	2	1	1	Tidak

**4.2 Hasil Percobaan Pada Penentuan Gel Point**

**Tabel 4-2 : DATA PENGAMATAN VISKOSITAS PADA T 50°C**

Waktu (mnt)	Viskositas (poise)				
	Komp1	Komp2	Komp3	Komp4	Komp5
30	120	150	160	140	150
50	150	150	165	145	150
90	160	160	185	150	165
120	170	170	210	155	170
150	170	180	225	160	180
180	180	190	250	160	195
210	185	210	270	180	210
240	195	215	275	180	220
270	200	230	290	200	220
300	230	250	300	210	235
330	250	270	320	220	240
360	260	275	350	300	250
390	265	290	380	250	260
420	275	300	400	260	270
450	285	310	420	265	275
480	300	340	480	270	280
510	330	360	540	275	290
540	360	400	500	280	295
570	400	420	700	285	300
600	410	450	750	295	320
630	430	490	800	300	330
660	480	550	860	320	350
690	520	620	-	340	390
720	550	700	-	370	420
750	580	740	-	390	460
780	690	820	-	400	500
810	720	900	-	450	540
840	800	960	-	490	560
870	880	1050	-	510	630
900	950	-	-	560	680
930	1080	-	-	600	750
960	-	-	-	650	810
990	-	-	-	700	-
1020	-	-	-	800	-

**Tabel 4-3 : PENGAMATAN VISKOSITAS T 60°C**

Waktu (mnt)	Viskositas (poise)				
	Komp1	Komp2	Komp3	Komp4	Komp5
30	125	125	120	125	125
60	135	135	140	40	125
90	145	145	170	45	175
120	160	170	210	55	175
150	180	185	250	65	180
180	210	220	280	80	210
210	240	260	300	100	260
240	-	280	330	250	280
270	300	320	380	275	300
300	330	380	450	300	340
330	380	475	500	350	400
360	450	-	560	420	450
390	580	-	660	520	520
420	-	-	-	650	670
435	-	-	-	750	-
440	-	-	-	-	700
450	-	-	-	-	800
455	-	-	-	870	-
465	-	-	-	920	-

**Tabel 4-4 : DATA PENGAMATAN VISKOSITAS PADA T 65°C**

Waktu (mnt)	Viskositas (poise)				
	Komp1	Komp2	Komp3	Komp4	Komp5
30	65	65	55	130	55
60	50	55	70	145	60
90	70	80	95	170	80
120	90	175	210	205	95
150	180	225	275	225	220
180	250	275	350	270	275
210	290	310	450	285	300
240	310	400	670	320	350
270	450	590	-	380	460
300	690	880	-	440	680
330	-	-	-	650	-
360	-	-	-	770	-

**Tabel 4-5 : DATA PENGAMATAN VISKOSITAS PADA T 70°C**

Waktu (mnt)	Viskositas (poise)				
	Komp1	Komp2	Komp3	Komp4	Komp5
30	70	80	65	70	125
60	45	40	42	35	125
90	55	50	55	40	175
120	80	75	85	50	175
150	105	120	140	55	180
180	290	280	380	70	210
210	380	370	480	90	260
240	620	550	660	100	280
250	800	650	900	-	-
270	-	-	-	280	300
300	-	-	-	340	340
330	-	-	-	460	400
360	-	-	-	-	450
390	-	-	-	-	520
420	-	-	-	-	670
440	-	-	-	-	700
450	-	-	-	-	800

**Tabel 4-6 : DATA PENGAMATAN VISKOSITAS PADA T 80°C**

Waktu (mnt)	Viskositas (poise)				
	Komp1	Komp2	Komp3	Komp4	Komp5
30	150	190	125	30	31
60	-	180	140	37	40
90	180	250	250	135	160
120	-	300	300	180	250
150	350	500	1050	270	420
165	-	750	-	420	-
180	470	-	-	650	580
195	850	-	-	-	-

## 5 PENGOLAHAN DATA

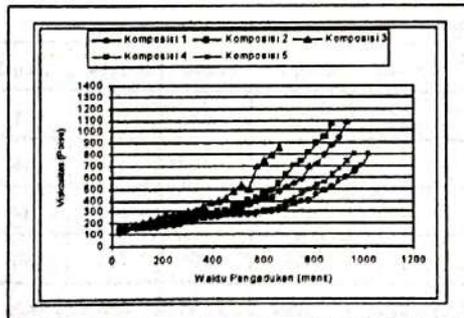
### 5.1 Pemilihan komposisi

Untuk melihat kecenderungan yang ada, data dari Tabel 4-1 diubah dalam perbandingan mol. Kemampuan pematangan (curing) diamati setelah 24 jam

Tabel 5-1 : PERBANDINGAN MOL KOMP. 1 S.D. 9

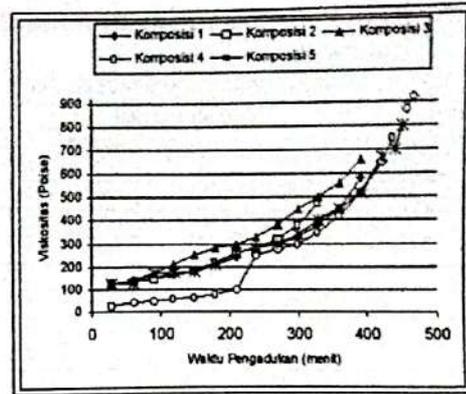
Komp	Perbandingan Mol			Kemampuan Curing
	CTPB	MAPO	EPON	
1	4,9	9,5	1,0	Dapat
2	2,8	4,7	1,0	Dapat
3	1,4	1,6	1,0	Dapat
4	4,1	9,5	1,0	Dapat
5	2,4	4,7	1,0	Dapat
6	1,2	1,6	1,0	Tidak
7	0,8	9,5	1,0	Tidak
8	0,5	4,7	1,0	Tidak
9	0,2	1,6	1,0	Tidak

Dari kesembilan komposisi, untuk pengolahan data selanjutnya diambil 5 komposisi saja, yaitu yang dapat curing.

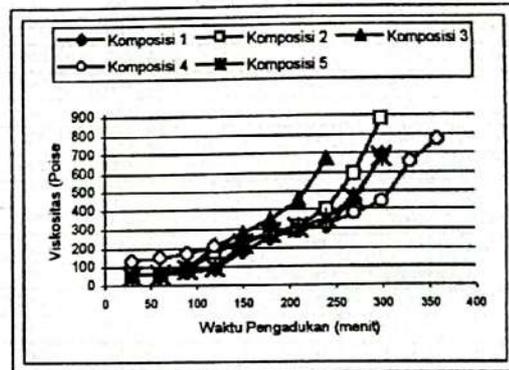


Gambar 5-1 : Grafik waktu pengadukan vs viskositas pada temperatur 50° C dan penentuan gel point.

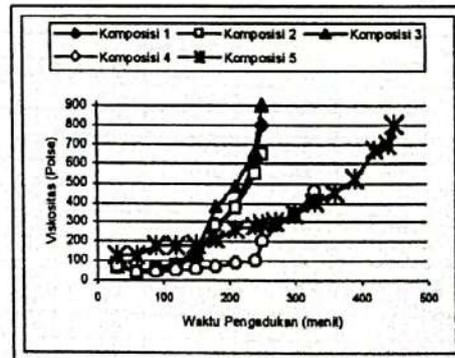
Dari Tabel 4-2 sampai 4-6 diperoleh grafik hubungan viskositas terhadap waktu sebagai berikut.



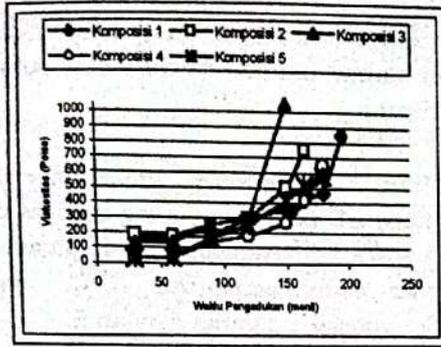
Gambar 5-2: Grafik waktu pengadukan vs viskositas pada temperatur 60° C dan penentuan gel point.



Gambar 5-3 : Waktu pengadukan vs viskositas pada temperatur 65° C dan penentuan gel point.



Gambar 5-4 : Waktu pengadukan vs viskositas pada temperatur 70° C dan penentuan gel point.



Gambar 5-5 : Waktu pengadukan vs viskositas pada temperatur 80°C dan penentuan gel point.

Tabel 5-2 : WAKTU DAN VISKOSITAS PADA SAAT GEL POINT.

Komp.	Temp (C)	Waktu (jam)	Viskos (poise)
I	50	10,5	430
	60	6,0	450
	65	4,0	310
	70	4,0	620
	80	3,0	470
II	50	110,5	490
	60	5,0	380
	65	4,0	400
	70	4,0	550
	80	2,5	500
III	50	9,0	600
	60	6,0	560
	65	3,5	450
	70	3,5	380
	80	2,0	300
IV	50	13,0	400
	60	6,0	420
	65	44,0	320
	70	5,0	340
	80	2,5	270
V	50	11,0	480
	60	6,5	520
	65	4,0	350
	70	4,0	490
	80	2,0	250

## 6 PEMBAHASAN

### 6.1 Pemilihan Komposisi

a. Dari hasil percobaan diketahui bahwa untuk sampel 1 s.d. 5 curing dapat terjadi dalam waktu maksimum 24 jam dan temperatur 70°C. Sampel 6, waktu curing yang diperlukan 48 jam sedangkan sampel 7 s.d. 9 tidak dapat curing/matang walaupun dilakukan pematangan lebih dari 72 jam.

b. Dari pengamatan yang dilakukan terlihat bahwa dengan semakin

besarnya beda perbandingan antara MAPO dan CTPB, di mana EPON dalam perbandingan tetap, maka kemampuan untuk terjadinya pematangan semakin menurun (Tabel 5-1). Hal ini dapat dimengerti dari asumsi pada teori polikondensasi yang menyebutkan bahwa semua grup fungsional sebanding kereaktifannya, tidak tergantung pada berat molekul atau viskositasnya.

c. Range viskositas gel point untuk ke-5 komposisi, (Tabel 6-1).

Tabel 6-1 : RANGE VISCOSITAS UNTUK KELIMA KOMPOSISI.

Temperatur (°C)	Range Viskositas (poise)
50	400 - 600
60	380 - 560
65	3110 - 450
70	340 - 620
80	250 - 500

Asumsi lain menyatakan bahwa semua reaksi polikondensasi terjadi antara grup-grup fungsional dari molekul-molekul yang berbeda.

### 6.2 Penentuan Gel Point

a. Dari Tabel 5-2 terlihat bahwa untuk semua komposisi terjadi penurunan waktu terjadinya gelisasi terhadap kenaikan temperatur pengadukan. Perbedaan harga viskositas yang menyatakan di mana gel terjadi tampak sekali di sini. Hal ini dikarenakan, dari teori gelisasi pengamatan secara eksperimental, dikatakan gel point dapat terlihat dengan tepat pada saat campuran polimer, tiba-tiba kehilangan sifat fluidanya. Dalam penelitian ini hal tersebut dapat diamati dengan adanya perubahan viskositas yang mendadak/ besar selama reaksi berlangsung, yang dilukiskan sebagai titik belok pada grafik pada Gambar 5-1.

- b. Reaksi bersifat endoterm, range temperatur diambil 50 - 80°C, karena pada penelitian pendahuluan untuk temperatur 40°C reaksi berjalan sangat lambat (21 jam baru mencapai 500 poise) dan kenaikan viskositasnya sangat kecil sehingga sukar untuk mendeteksi gel pointnya. Batas atas diambil 80°C karena dari literatur diperoleh temperatur kritis polibutadiena 90°C. Di atas temperatur ini polibutadiena akan terurai.
- c. Untuk temperatur 65°C dan 70°C terlihat bahwa waktu yang diperlukan untuk terjadinya gel (gel point) hampir sama. Tetapi jika diperhatikan dari viskositasnya akan tampak perbedaannya, yaitu untuk temperatur 70°C viskositasnya lebih tinggi.
- d. Dari tabel juga terlihat bahwa secara umum untuk semua komposisi perubahan temperatur (kenaikan) akan mempercepat waktu tercapainya gel point, terdapat penurunan waktu untuk mencapai harga viskositas tertentu dengan bertambahnya temperatur pengadukan. Terlihat bahwa ada perubahan tajam dari waktu yang diperlukan antara temperatur pengadukan 50°C dan 60°C untuk hampir semua komposisi. Viskositas merupakan fungsi dari temperatur dan konversi reaksi.
- e. Dari tabel dan grafik-grafik yang diperoleh terlihat bahwa perbandingan angka-angka antara temperatur pengadukan 65°C dan 70°C tidak begitu jauh berbeda.

## 7 KESIMPULAN

Hasil percobaan yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari 9 komposisi yang diberikan hanya 5 percobaan yang menyatakan bahwa pematangan terjadi dalam 24 jam pada temperatur 70°C, yaitu komposisi 1 sampai dengan 5.
2. Perbandingan antara CTPB terhadap MAPO dalam campuran CTPB, MAPO dan EPON, sebaiknya tidak di bawah 0,5 karena akan mengurangi kemampuan curing.
3. Reaksi diketahui bersifat endoterm, di mana semakin tinggi temperatur reaksi akan semakin cepat reaksi terbentuk.
4. Temperatur reaksi berbanding terbalik dengan waktu gelisasi dan pada waktu gel point tercapai akan kehilangan sifat fluidanya.
5. Dari grafik pada Gambar 5-1 sampai 5-5, terlihat bahwa semakin tinggi temperatur semakin tinggi pula viskositasnya. Kenaikan viskositas berjalan perlahan-lahan pada awalnya, kemudian semakin lama semakin cepat.

**DAFTAR RUJUKAN**

- Billmeyer, Jr., Fred, 1971, *Textbook of Polymer Chemistry*, John Wiley & Sons, New York..
- Holman, J.P., 1985, *Metoda Pengukuran Teknik*, Erlangga, Jakarta
- Nuryanto, Agus, 1992, *Resin Polybutadiena sebagai Fuel Binder dalam sistem Propulsi Antarksa dan Prospeknya di Indonesia*, Makalah pada Konperensi Antarksa Nasional Jakarta.
- Odian, George, 1970, *Principles of Polymerization*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- Rosen, Stephen L., 1982, *Fundamental Principles of polymeric Materials*, John Wiley & Sons, New York.
- Tess, Roy W., 1975, *Applied Polymers Science, Organic Coating and Plastic Chemical Society*. Washington.
- Tobolsky, Arthur V., 1960, *Properties Polymers*, John Wiley & Sons, New York.