

PEMBUATAN POLIBUTADIEN DENGAN SPESIFIKASI FUEL BINDER PROPELAN PADAT

Oleh:
Geni Rosita

Abstrak

Propelan padat komposit terdiri dari oksidator, fuel binder dan additif logam. Pada pembuatan propelan, pertama, dilakukan pembuatan fuel binder, yaitu campuran dari polioliol dengan isosianat untuk merubah cairan menjadi bentuk padat, membentuk senyawa rantai silang yang disebut dengan reaksi curing. Setelah dilakukan analisis, ternyata tidak semua polibutadien (HTPB) yang dihasilkan dari polimerisasi dapat bereaksi dengan isosianat yang spesifikasi fuel binder. Maka dari itu, telah dilakukan beberapa penelitian untuk mendapatkan polibutadien yang bila direaksikan dengan isosianat terbentuk poliuretan yang elastis dan tidak keropos. Dari 4 metode penelitian dengan memakai pelarut butanol dan inisiator hidrogen peroksida dengan isosianat; sedangkan pada pelarut toluen inisiator logam litium, direaksikan dengan isosianat hasilnya keropos. Inisiator Litium dengan pelarut dedocane gagal, atau tidak membentuk HTPB; sedangkan inisiator natrium dengan pelarut toluen dan hexan terbentuk polibutadien, tapi terlalu kental (berat molekul rata-rata polimer terlalu tinggi), yaitu diatas 5000, bila direaksikan dengan isosianat menjadi bertambah keras. Dengan demikian, disimpulkan bahwa yang dapat dipakai untuk mendapatkan polibutadiena dengan memakai pelarut butanol dan inisiator hidrogen peroksida.

Kata kunci; Fuel binder, inisiator, HTPB, Toluene diisocyanate

Abstract

Composite solid propellant consists of oxidizer, fuel binder and additive metals. In the manufacture of propellants, the first, carried out the manufacture of fuel binder, ie a mixture of polyol with isocyanate to convert liquid into solid form, forming a cross-chain compounds called curing reaction. Having done the analysis, it was not all polybutadiene (HTPB) resulting from the polymerization can react with isocyanate binders fuel specifications. Therefore, we conducted several studies to obtain polybutadiene which when reacted with isocyanates to form polyurethanes, elastic and not porous. The 4 methods of research using the solvent butanol and hydrogen peroxide initiator with an isocyanate, while the solvents toluene initiator sodium metal is reacted with an isocyanate, the results are porous. Lithium initiator with a solvent dedocane fail, or do not form HTPB; whereas natrium initiator with paraffin solvent and hexan polybutadiene formed, but it is too viscous, average molecular weight of polymer is too high, which is above 5000, when reacted with an isocyanate become increasingly harsh. Thus, concluded that which can be used to obtain polibutadiena using solvents butanol and hydrogen peroxide initiator.

Key words: fuel binder, initiator, HTPB, Toluene diisocyanate

1. PENDAHULUAN

Salah satu komponen penting dari sebuah motor roket adalah propelan. Pembakaran propelan menghasilkan gaya dorong roket. Karakteristik dari sebuah propelan diperlukan sebagai data masukan untuk merancang suatu motor roket. Propelan berkualitas tinggi akan menghasilkan roket yang bermutu tinggi juga. Maka dari itu, pembuatan propelan yang berkualitas tinggi sangat diharapkan, agar kinerja propelan meningkat. Kinerja propelan sangat ditentukan oleh impuls spesifiknya (Isp), dimana besar impuls spesifik suatu propelan padat akan dipengaruhi oleh *fuel binder*, oksidator, aditif dan jumlah padatan yang dikandungnya (*solid content*). Hampir semua roket modern saat ini menggunakan *fuel binder* poliuretan berbasis HTPB dan isosianat. Hal ini karena HTPB memiliki sifat mekanik yang baik dan sifat energetik yang tinggi.

Pada pembuatan propelan padat, terlebih dahulu dilakukan penelitian awal, dengan mencari perbandingan reaksi antara *fuel* dengan *binder*, yaitu reaksi antara HTPB dan isosianat, serta menentukan waktu *curing*. Hasil penelitian yang diharapkan terjadi, yaitu yang elastis, tidak keropos,

* Peneliti Bidang Propelan Pusat Teknologi Roket - LAPAN

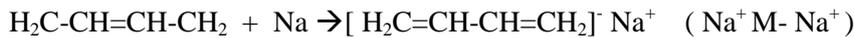
dan tidak cepat mengeras, karena hasil reaksi antara HTPB dengan isosianat akan mempengaruhi hasil propelan.

LAPAN selama ini memakai HTPB import dengan spesifikasi yang didapat berbeda-beda pada setiap pembelian baru. Dengan demikian spesifikasi fuel binder yang diperoleh juga berubah. Untuk itu Bidang Propelan melakukan penelitian pembuatan Hydroterminated polibutadiene (HTPB), yaitu polibutadien yang di kedua ujung rantainya terdapat gugus hidroksil (OH). Untuk mendapatkan formula fuel binder yang tetap, maka HTPB yang diinginkan adalah HTPB dengan bilangan OH yang banyak, supaya terjadi rantai panjang dan lurus karena akan mempengaruhi kepada sifat-sifat mekanik dan sifat energetik polimer.

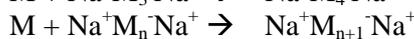
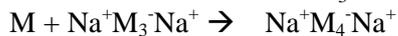
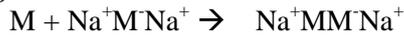
Reaksi polimerisasi butadiena menjadi polibutadiena merupakan reaksi polimerisasi adisi, dengan pertumbuhan rantai secara serentak. Tahapan polimerisasi adisi ada tiga tahap, yaitu inisiasi, propagasi dan terminasi. Inisiasi adalah mengaktifkan monomer agar menjadi senyawa dengan ujung aktif yang siap untuk tumbuh berpolimerisasi. Propagasi yaitu pertumbuhan rantai polimer, sehingga polimer semakin panjang, ini terjadi dengan adanya monomer teraktifkan, bereaksi secara terus menerus menjadi rantai mer-mer yang aktif satu persatu. Pertumbuhan rantai menjadi sangat besar dan akan berhenti bila terjadi reaksi terminasi, yaitu reaksi matinya pertumbuhan polimer yang sedang tumbuh. Proses terminasi dapat terjadi melalui reaksi antara sesama polimer aktif, atau dengan adanya suatu senyawa lain yang bereaksi dengan radikal polimer menjadi senyawa yang stabil.

Inisiasi logan Natrium.

Inisiasi:



Propagasi:



Terminasi:



Dari mekanisme dan kinetika reaksi dapat diketahui pengaruh dari beberapa faktor operasi,

Jika $\text{Na} = \text{A}^-$, Monomer = M

Maka laju reaksi pada tahapan inisiasi dapat dinyatakan sebagai berikut;

$$r_i = k_i [\text{A}^-]^2 \cdot [\text{M}] \quad (1.1)$$

$$r_p = k_p [\text{A}^- \text{M}^- \text{A}^-] [\text{M}] \quad (1.2)$$

Pada keadaan tunak laju reaksi yang disebabkan oleh reaksi inisiasi (r_i) akan sama dengan lajureaksi terminasi (r_t) Hal ini disebabkan reaksi inisiasi dan reaksi dan terminasi belansung sangat cepat sekali, sehingga hubungan tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$r_i = k_t [\text{A}^- \text{M}_n^- \text{A}^-] \quad (1.3)$$

$$r_i = r_t = k_t [\text{A}^- \text{M}_n^- \text{A}^-] \quad (1.4)$$

$$r_i / k_t = [\text{A}^- \text{M}_n^- \text{A}^-] \quad (1.5)$$

Dengan memsubstitusikan persamaan 5 ke persamaan 2 maka akan didapat bentuk persamaan laju polimerisasi secara keseluruhan yang ditentukan dari laju reaksi yang paling lambat pada tahap propagasi yaitu :

$$r_p = k_p [\text{M}] (r_i / k_t) \quad (1.6)$$

Laju reaksi polimerisasi sama dengan laju pengurangan konsentrasi monomer-monomer. Persamaan laju reaksi sebenarnya dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$-d(\text{M}) / dt = r_i + r_p \quad (1.7)$$

Bila dibandingkan laju reaksi inisiasi dengan laju reaksi pada tahap propagasi, jumlah monomer yang bereaksi pada tahap inisiasi biasanya jauh lebih kecil sehingga dalam perhitungan

biasanya laju reaksi inisiasi diabaikan. Jika pada persamaan (7) diatas laju reaksi inisiasi tidak diabaikan terhadap laju reaksi propagasi, maka akan diperoleh hubungan sebagai berikut:

$$-d(M) / dt = r_i + k_p [M] (r_i / k_t) \quad (1.8)$$

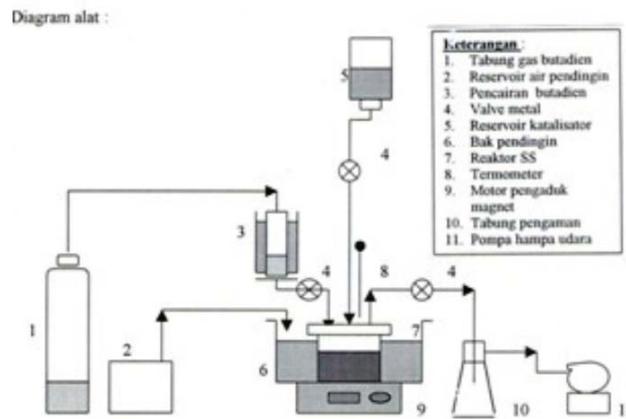
Dengan memasukkan persamaan (1.1) kedalam persamaan (1. 8) akan didapat rumus sebagai berikut:

$$-d(M) / dt = (k_p \cdot k_i / k_t) [A]^2 \cdot [M]^2 \quad (1.9)$$

Fuel binder adalah cairan organik yang dapat berdispersi dengan oksidator halus membentuk massa padat. Zat organik ini akan mudah terbakar karena beraksi dengan oksidator dan terjadi perubahan fasa secara fisik dan kimia membentuk gas panas.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa cara, yaitu dengan mengganti pelarut dan inisiator, dimana pada penelitian ini kami memakai inisiator logam natrium, litium, dan hidrogen peroksida dengan pelarut toluen, parafin, dan butanol, penelitian dilakukan dengan 4 cara, yaitu dengan alat yang berbeda.



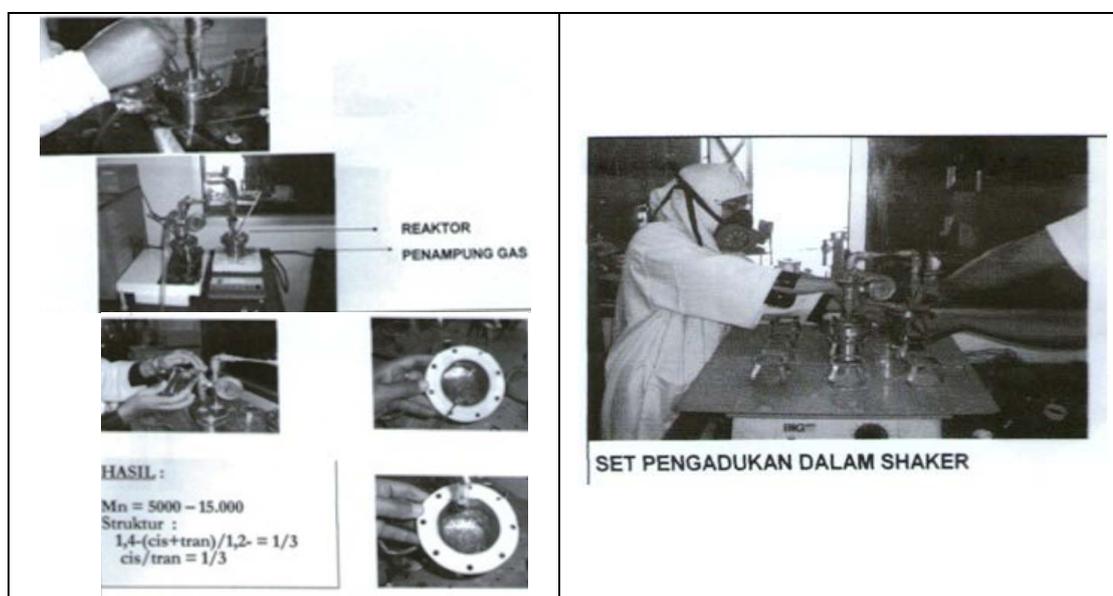
Gambar 2-1. Alat pembuatan HTPB cair-cair

- a. Pada penelitian ini, terlebih dahulu dilakukan penghampaan reaktor (reaktor dibebaskan dari udara), dengan menghembuskan gas butadien berkali-kali dengan menutup valve. Masukkan pelarut kedalam reaktor, alirkan lagi gas butadien untuk mengusir udara yang tertinggal dalam reaktor. Masukkan inisiator Litium kedalam reaktor melalui syring, semua kran ditutup, suhu reaktor diatur pada -10°C dengan mengalirkan gas nitrogen, campur kerosin melalui refrigerator reservoir. Lakukan pengadukan dengan pengaduk magnet pada kecepatan 300 rpm. Suhu reaksi dan lama reaksi bervariasi. Alirkan gas butadien kedalam tabung pencairan untuk pencairan (pendinginan dengan nitrogen cair dan kerosin) pada suhu -20°C , dengan membuka valve utama sambil diaduk. Hasil reaksi diambil setiap 25 menit untuk dianalisa viskositas. Berat molekul dan spektra infra merah. Hasil polimerisasi dicuci dengan benzen sampai bersih lalu divakum dan terakhir cuci dengan air panas, lalu di oven.
- b. Pada penelitian ini, dicoba pelarut dodecane. Inisiator litium dan monomer butadien.
 - i. Lakukan terlebih dahulu pecairan gas butadien, dengan mengalirkan kedalam tabung penampungan pada suhu $18-20^{\circ}\text{C}$ selama 1 jam.
 - ii. Masukkan dodecane, amilum atau karbondioksida, dan inisiator, ke dalam reaktor. Panaskan pada suhu 216°C , dodecane akan mendidih. Lalu alirkan sedikit butadien untuk mengusir udara yang tersisa. Tutup kran, lalu lakukan pengadukan sampai suhu kamar.
 - iii. Ambil reaktor, letakan diatas shaker, alirkan butadien yang ada ditabung penampungan ke reaktor, jalankan shaker dengan skala 150, lakukan reaksi selama 1 hari (24 jam).

Setelah selesai reaksi, lakukan reaksi terminasi dengan mengalirkan etilen oksida, diamkan selama 30 menit. Buka reaktor untuk mengambil hasil, cuci dengan toluen terjadi 2 lapisan. Hasil yang kental diambil dan dikeringkan di oven lalu dibubuhi karbon dioksida, maka hasil telah siap untuk dianalisa.

- c. Polimerisasi dilakukan dalam keadaan inert, pada suhu kamar, dengan reaktor autoklaf. Masukkan pelarut toluen, inisiator logam natrium kedalam reaktor, alirkan gas nitrogen untuk mengusir udara yang ada dalam reaktor, lalu semua kran ditutup, lakukan pengadukan dengan kecepatan 400 rpm selama 1 jam, lalu letakkan reaktor dalam pendingin sampai suhu dalam reator -20°C .

Alirkan gas butadien selama 1 jam (waktu alir bervariasi), letakkan reaktor diatas shaker, diputar dengan kecepatan 150 selama 12 jam (lama reaksi bervariasi). Setelah selesai reaksi, lakukan reaksi terminasi dengan menambahkan etilen oksid kedalam reaktor, biarkan selama 30 menit. Buka reaktor untuk mengambil hasil, lakukan pencucian hasil dengan metanol secara berulang kali sampai larutan pencuci bening, maka hasil siap untuk dianalisa.



Gambar. 2-2. Peralatan yang digunakan pada proses no 2 dan 3.

- d. Lakukan penampungan gas butadien, dengan memvakum terlebih dahulu semua selang dan tabung, selama 15 menit, atur suhu sampai -30°C , buka kran pada saluran gas dari tabung utama ke tabung penampungan selama 4 jam, lalu tutup semua kran tabung utama dan tabung penampungan I. Tabung penampungan biarkan dalam bak pendingin pada suhu 30°C selama 4 jam. Dinginkan tabung penampung II, pada suhu -30°C , buka kran penampung I dan tabung II, alirkan butadien dari tabung I ke tabung II selama 4 jam.

Reaktor dirangkai, masukkan butanol dan inisiator Hidrogen peroksida, lalu tutup rapat, dan divakum, untuk membebaskan udara yang tersisa dalam reaktor, sambungkan selang tabung II ke reaktor yang telah diatur suhu pada -30°C . Alirkan butadien dari tabung II ke reaktor dengan memanaskan tabung II, pada suhu $45-50^{\circ}\text{C}$ selama 30 menit, dan reaktor dibiarkan dalam bak pendingin selama 2 jam (untuk membantu mengalirnya monomer butadien dari tabung penampung II ke reaktor). Tutup semua kran tabung penampung II dan reaktor, lepaskan selang aliran butadien dari reator.

Pasang pemanas reaktor, atur suhu sampai 118°C , aduk dengan kecepatan pengaduk 300 rpm. Setelah mencapai suhu 118°C , lanjutkan pemanasan dan pengadukan selama 2 jam, lalu biarkan

reaktor sampai mencapai suhu kamar, baru kemudian dibuka untuk mengambil hasil. Hasil polimerisasi berupa 2 lapisan, yaitu lapisan cair dan viskous. Pisahkan, dengan menggunakan corong pemisah. Ambil hasil yang kental, lalu cuci dengan air mendidih sampai air pecuci jadi bening. Setelah pencucian selesai, ambil hasil di oven dan di vakum selama 4 jam pada suhu 60°C untuk menghilangkan butanol yang tersisa. Untuk hasil selanjutnya dapat di uji dan di analisa.



Tabung butadiena



Tabung pendingin



Alat indikator



Gambar.2- 3. Rangkaian alat proses polimerisasi butadiene.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dilihat dari hasil polimerisasi, dengan adanya larutan agak kental berarti reaksi polimerisasi terjadi, untuk itu dilakukan pencucian dengan benzen, lalu dicuci lagi dengan air panas untuk menghilangkan larutan yang tersisa. Hasil reaksi dengan toluene diisosianat dengan beberapa perbandingan semua keropos tidak sesuai dengan spesifikasi fuel binder yaitu elastis dan tidak ada gelembung udara atau tidak keropos. Hal ini bisa terjadi pengaruh terbentuknya crosslink yang menyebabkan kekerasan dan keropos yaitu dengan adanya gugus isosianat yang berlebih sehingga

bereaksi dengan gugus uretan. Analisa FTIR dapat dilihat pada tabel 1 – 4, Dari tabel yang diperoleh, ternyata isomer tran 1.4 yang ada pada peak 964.41 cm^{-1} lebih dominan dan isomer vinil 1.2 pada peak 910 cm^{-1} juga tinggi, isomer cis 1.4 tidak ada. Sedangkan untuk mendapatkan hasil yang elastis dan lentur hendaknya isomer cis 1.4 lebih dominan. Bila isomertran 1.4 yang dominan, hasil polimerisasi akan keras, sedangkan isomer vinil 1.2 mengakibatkan getas. Sifat-sifat polimer dapat dipengaruhi oleh panjang rantai polimer, crosslink (ikatan silang) Hal ini dapat disempurnakan dengan merubah komposisi larutan, inisiator, lama reaksi, suhu reaksi, dll, yang dapat mempengaruhi hasil polimerisasi.

Hasil analisa FTIR

Tabel.3-1. Hasil analisa FTIR

No.	Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	910.4	0.9158	0.7404	933.55	881.47	19.6456	10.7765
2	964.41	1.3123	0.9666	983.7	935.48	31.9777	16.6769
3	993.34	0.5309	0.1357	1033.85	985.62	16.3562	1.2705
4	1436.97	0.4003	0.1037	1444.68	1423.47	6.9804	1.1207
5	1639.49	0.1566	0.1001	1649.14	1625.99	2.2674	1.0228
6	2843.07	0.38	0.211	2866.22	2708.06	11.2177	-3.6423
7	2914.44	0.56	0.3723	2968.45	2868.15	35.0713	16.3197
8	3005.1	0.1896	0.0566	3051.39	2993.52	6.499	1.0728

Tabel.3-2. hasil analisa FTIR

No.	Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	910.4	0.6046	0.4915	933.55	858.32	14.5174	6.9534
2	964.41	0.966	0.751	983.7	935.48	21.5041	11.969
3	993.34	0.3298	0.0839	1035.77	985.62	10.2725	0.2101
4	1436.97	0.239	0.0679	1444.68	1423.47	4.0658	0.689
5	1637.56	0.0909	0.0631	1649.14	1625.99	1.2524	0.6074
6	2843.07	0.2151	0.1305	2866.22	2729.27	4.1734	-1.2271
7	2914.44	0.3379	0.2397	2972.31	2866.22	20.8325	10.5246

Tabel.3-3. Hasil analisa FTIR

No.	Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	910.4	0.7474	0.5985	933.55	858.32	18.6164	8.652
2	964.41	1.1446	0.8633	983.7	935.48	26.6631	14.1916
3	993.34	0.4291	0.1057	1035.77	985.62	13.7167	0.3812
4	1436.97	0.3035	0.0816	1444.68	1423.47	5.2306	0.8485
5	1637.56	0.1209	0.0792	1649.14	1625.99	1.7366	0.7719
6	2843.07	0.2923	0.1656	2866.22	2729.27	7.6328	-1.647
7	2914.44	0.4482	0.3035	2972.31	2866.22	28.5538	13.3367

Tabel.3- 4. Hasil Analisa FTIR.

No.	Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	910.4	0.7474	0.5985	933.55	858.32	18.6164	8.652
2	964.41	1.1446	0.8633	983.7	935.48	26.6631	14.1916
3	993.34	0.4291	0.1057	1035.77	985.62	13.7167	0.3812
4	1436.97	0.3035	0.0816	1444.68	1423.47	5.2306	0.8485
5	1637.56	0.1209	0.0792	1649.14	1625.99	1.7366	0.7719
6	2843.07	0.2923	0.1656	2866.22	2729.27	7.6328	-1.647
7	2914.44	0.4482	0.3035	2972.31	2866.22	28.5538	13.3367

Pada hasil penelitian ini, walaupun terjadi perubahan fisik, yaitu dari cair menjadi viskos, ini menandakan proses polimerisasi terjadi, tapi bukan HTPB yang mengandung gugus OH pada kedua ujung rantai. Ini dibutuhkan untuk bereaksi dengan isosianat. Dan hal ini dapat dibuktikan dari hasil

analisa FTIR, dimana hasil analisa mikro struktur juga tidak menunjukkan peak-peak isomer cis 1.4, vinil 1.2, tran 1.4, dan gugus OH, sebagai ciri - ciri dari HTPB yang masing-masing terdapat pada peak berkisar antara 710 cm^{-1} , 910 cm^{-1} , 970 cm^{-1} dan 3000 cm^{-1} . Hal ini dapat dilihat pada tabel dibawah ini, dimana cis 1.4, vinil 1.2, tran 1.4, dan bilangan OH hasil analisa, adalah 0 (lihat corr.are pada tabel). Jadi metode ini buat sementara, tidak bisa dipakai untuk pembuatan HTPB sebelum diperbahurui. Hal ini terjadi, mungkin karena titik didih pelarut mendekati titik didih inisiator, sehingga tidak muncul tekanan yang kuat dari uap dodecan untuk memicu reaksi antara monomer inisiator dan pelarut, sedangkan kecepatan reaksi yang terjadi juga di pengaruhi oleh suhu reaksi, dll.

Hasil analisa FTIR

Tabel.3- 5. Hasil analisa peak-peak FTIR dari hasil proses no. 2.

No	Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	645.65	1.4	1	647.1	644.93	1.5	0:7
2	671.93	1.4	0.4	673.14	671.69	1.6	0.3
3	683.5	0.9	0.1	683.74	682.06	1.3	0.1
4	688.32	1	0.1	688.81	687.36	1.3	0.1
5	690.01	1,1	0.4	690.49	688.81	1.7	0.3
6	694.11	1	0.2	695.32	693.63	1.4	0.2
7	707.61	0.9	0.1	708.33	706.65	1.4	0.1
8	709.78	0.9	0.2	710.26	708.58	1.4	0
9	727.62	0.9	0.2	728.1	726.42	1.3	0.2
10	728.83	0.8	0.2	730.52	728.35	1.6	0.2
11	733.17	0.8	0.1	734.13	732.44	1.2	0.1
12	745.46	0.8	0	746.19	744.26	1.4	0.1
13	747.39	0.8	0.1	748.12	746.43	1.3	0.1
14	760.17	0.8	0.1	760.89	759.21	1.3	0.1
15	769.81	0.7	0.1	771.5	769.09	1.7	0.2
16	842.14	0.7	0	84262	840.7	1.2	0
17	981.49	0.5	0	983.66	980.77	1.4	0.1
18	1001.26	0.6	0	1001.51	999.09	1.3	0
19	1009.22	0.8	0.1	1009.94	1008.26	1.2	0
20	102441	0.9	0.1	1024.89	1023.45	1.2	0.1
21	1054.55	0.8	0.1	1055.75	1054.06	1.3	0.1
22	1063.23	0.9	0.1	1064.67	1062.5	1.8	0.1
23	1065.88	0.9	0.1	1066.36	1064.91	1.2	0.1
24	1070.94	0.8	0.1	1072.87	1070.46	1.9	0.1
25	3242.72	0.7	0.1	3244.41	3241.99	1.5	0.2
26	3276.71	.7	0.1	3277.92	3275.99	1.3	0.1
27	3282.26	0.7	0.1	3283.7	3281.53	1.4	0
28	3309.02	0.7	0	3309.26	3306.85	.5	0
29	3346.87	0.7	0.1	3347.84	3345.91	.3	0.1
30	3397.26	0.8	0.1	3398.71	3396.05	.9	0.2
31	3440.9	0.7	0.1	3441.86	3439.69	1.4	0.1
32	3459.46	0.6	0.1	3460.43	3458.26	1.3	0.1
33	3488.39	0.6	0.1	3489.6	3487.19	1.3	0.1

Tabel. 3- 6. Hasil analisa peak-peak FTIR dari hasil proses .no.2.

NO	Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	416.37	0	0	418.54	413.96	1	1
2	454.94	0	0	456.63	453.74	1	0
3	491.35	0	0	494.4	489.66	0	1
4	560.54	0	0	562.71	559.34	1	1
5	578.39	0	0	579.59	577.66	1	0
6	625.64	0	0	625.88	622.75	1	0
7	651.68	0	0	651.92	649.75	1	0
8	653.12	0	0	654.81	652.16	1	0
9	727.62	0	0	733.89	724.25	3	0
10	1377.13	0	0	1392.56	1371.59	5	1
11	1445.12	0	0	1445.6	1439.82	2	0
12	1449.94	0	0	1450.66	1445.84	2	0
13	1453.8	0	0	1454.04	1450.91	1	0
14	1458.86	0	0	1459.1	1457.17	1	0

15	1462.24	0	0	1465.37	1461.51	2	0
16	2849.01	1	0	2849.49	2828.04	8	0
17	2852.87	1	0	2860.1	2849.73	6	0
18	2865.89	0	0	2866.61	2865.41	1	0
19	2870.95	0	0	2874.81	2869.26	3	0
20	2881.08	0	0	2881.32	2880.11	0	0
21	2883.01	0	0	2883.49	2881.56	1	0
22	2891.2	0	0	2891.68	2885.9	3	0
23	2892.89	0	0	2893.13	2891.93	1	0
24	2894.58	0	0	2895.06	2893.61	1	0
25	2896.27	0	0	2896.51	2895.3	1	0
26	2899.4	1	0	2900.36	2896.75	2	0
27	2901.33	1	0	2902.53	2900.61	1	0
28	904.7	1	0	2904.94	2903.74	1	0
29	907.36	1	0	2907.6	2906.15	1	0
30	2910.97	1	0	2911.7	2908.8	2	0
31	2913.38	1	0	2914.59	2911.94	2	0
32	2918.21	1	0	2921.1	2914.83	4	0
33	2922.79	1	0	2924.23	921.34	2	0
34	2927.13	1	0	2928.09	925.2	2	0
35	2929.05	1	0	2930.02	2928.33	1	0
36	2936.77	1	0	2937.49	2936.05	1	0
37	2948.58	0	0	2949.79	2944.97	2	0
38	2952.92	0	0	2953.16	2951.72	1	0

Tabel. 3-7. Hasil analisa peak-peak FTIR dari hasil proses no. 2.

NO	Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	505.57	0.855	0.8198	505.82	505.09	0.3373	0.3792
2	511.12	1.0835	0.8427	511.6	510.4	0.2758	0.7043
3	520.76	0.9874	0.8575	521.25	519.8	0.4312	0.6754
4	548.49	0.6472	0.5752	548.97	548.01	0.1706	0.2346
5	555.72	0.6126	0.6029	556.45	555.48	0.2187	0.2861
6	565.37	0.6781	0.3608	565.85	564.4	0.3788	0.6712
7	570.19	0.946	.8691	570.43	569.95	0.1927	0.2466
8	575.25	0.5188	0.3891	575.97	574.29	0.3024	0.5434
9	580.56	0.8943	0.4574	581.04	580.07	0.391	0.7446
10	588.51	0.8231	0.7549	588.99	588.03	0.304	0.4143
11	598.88	0.6873	0.3849	599.12	597.91	0.3473	0.4834
12	602.25	0.5016	0.3274	602.74	601.29	0.2347	0.4649
13	603.22	0.5444	0.5195	603.7	602.98	0.1488	0.1668
14	619.85	0.9112	0.8354	620.09	619.37	0.3909	0.3422
15	627.33	0.6621	0.0813	628.53	626.6	0.3106	1.4031
16	709.78	.0044	.0224	710.02	709.06	-0.0082	0.
17	909.89	-0.266	0.0211	910.37	909.41	-0.2681	0
18	969.44	-0.0483	0.0065	969.92	968.96	-0.0493	0.0036
19	1455.49	0.5767	0.0311	1455.97	1454.28	0.9082	0.0279
20	2850.7	0.8794	0.0496	2851.18	2831.89	8.9502	0.0462
21	2861.55	0.6657	0.0305	2862.51	2861.07	0.9401	0.0219
22	2869.99	0.5911	0.0225	2870.71	2869.5	0.7014	0.0159
23	890.96	0.5729	0.0163	2891.2	2889.51	0.9189	0.0116
24	901.33	0.7325	0.0164	2901.81	2900.61	0.868	0.0077
25	909.77	0.8799	0.0615	2910.25	2909.04	1.0261	0.0418
26	2915.55	1.1149	0.2367	2916.52	2915.07	1.4156	0.1393
27	2919.89	1.1528	0.1133	2920.38	2919.17	1.3295	0.0814
28	923.51	1.0638	0.1169	2924.47	2922.54	1.9755	0.1481
29	2935.56	0.7463	0.0835	2936.29	293484	1.0292	0.0663
30	2937.01	0.6665	0.0409	2938.46	2936.53	1.2414	0.0522
31	2944.73	0.5616	0.0276	2946.17	2944.24	1.0557	0.0304
32	2948.1	0.5666	0.0141	2948.58	2947.14	0.8069	0.0132
33	2958.95	0.5338	0.0318	2962.33	2958.47	1.9139	0.0914

Tabel. 3- 8. Hasil analisa peak-peak FTIR dari hasil proses 2

	Peak	Intensit y	Corr. Inte	Base (H)	Base(L)	Area	Corr.Ar e
1	428.91	1.2	0.9	429.87	428.67	0.7	0.4
2	470.62	1	0.6	471.1	469.89	0.3	0.8
3	483.88	1.6	1.5	484.36	483.64	0.6	0.6
4	507.5	1.1	1.1	507.74	506.06	0.7	0.7
5	514.98	1.1	0.4	515.94	514.74	0.4	1
6	558.62	1.3	0.9	559.34	558.13	0.1	0.6
7	573.08	1.1	0.6	573.32	572.6	0.3	0.6
8	594.3	1.2	0.6	595.02	593.82	0.1	0.8
9	603.22	1.6	1.4	603.46	602.74	0.2	0.6
10	605.39	1.4	1.3	606.11	605.15	0.5	0.6
11	628.29	0.3	0.6	629.26	628.05	-0.4	0.2
12	717.5	0.2	0	717.98	716.77	0.3	0
13	893.74	0.1	0	894.94	893.25	0.2	0
14	963.89	0.2	0	965.1	963.41	0.3	0
15	1024.65	0.1	0	1025.13	1024.17	0.1	0

Hasil penelitian setelah dicuci dan dioven didapatkan hasil polimer sangat kental dan padat. Hasil dari FTIR menunjukkan HTPB terbentuk karena terlalu kental. Sampel ini tidak dicoba direaksikan dengan toluene diisosiadat. Dilakukan analisis berat molekul polimer, ternyata sangat tinggi yaitu antara 5000-15000, sedangkan berat molekul polimer HTPB yang diinginkan antara 2800-5000. Secara teori, hal ini bisa diatasi dengan mengurangi jumlah monomer, membentuk reaksi blocking, yaitu reaksi penghentian pertumbuhan polimer, mengurangi jumlah inisiator serta lama reaksi. Pada penelitian ini, kelemahannya adalah tidak bisa diaturnya jumlah monomer yang masuk. Hal ini karena keterbatasan alat, jadi ukuran jumlah monomer, hanya diukur dengan lama waktu alir. Penyebab lain adalah luas permukaan logam natrium tidak bisa disamakan ukurannya karena susah memotong dengan ukuran yang pas dengan ukuran berat. Untuk itu harus dilakukan perubahan komposisi dimana bila waktu reaksi lama, maka berat molekul polimer naik, sesuai dengan dengan meningkatnya pertumbuhan perpanjangan rantai. Bila rantai yang terjadi terlalu panjang, otomatis berat molekul rata-ratanya naik. Bila jumlah katalisator dinaikkan maka berat molekul akan naik karena semakin banyak inisiator, maka jumlah monomer yang bereaksi secara serentak semakin banyak sehingga waktu reaksi terminasi terjadi, berat molekul masih memiliki pajang rantai yang panjang. Bila inisiator sedikit maka polimer yang tumbuh semakin lama, rantai jadi pendek maka berat molekul polimer akan kecil.

Tabel.3 - 9. Hasil analisa FTIR

No.	Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	435.91	1.1828	0.5017	441.7	428.2	5.2358	9.4161
2	459.08	0.6695	0.397	460.99	447.49	3.5129	7.3543
3	501.49	0.745	0.6333	505.35	491.85	3.3304	5.0357
4	532.35	0.5143	0.3516	536.21	522.71	2.5863	5.9801
5	582.5	0.5009	0.4093	584.43	576.72	0.9952	1.1737
6	603.72	0.5571	0.4741	615.29	596	7.2139	5.8559
7	642.3	0.5229	0.1108	648.08	636.51	5.3699	0.6661
8	1033.85	0.6536	0.0229	677.01	650.01	14.8606	0.3211
9	694.37	0.9097	0.3287	709.8	678.94	20.7157	2.6957
10	727.16	1.0497	0.5821	779.24	711.73	33.1439	5.307
11	908.54	0.927	0.7216	939.33	867.97	28.703	13.8449
12	968.27	0.4349	0.2092	981.77	941.26	11.4592	2.7627
13	993.34	0.5278	0.2972	1016.49	983.7	10.5105	3.4201
14	1417.68	0.3241	0.1491	1427.32	1390.68	7.4059	1.3635
15	1450.47	0.2366	0.0421	1469.76	1438.9	6.4594	0.7176
16	1639.49	0.3713	0.2015	1666.5	1618.28	11.1204	2.9505
17	2843.07	0.1883	0.077	2862.36	2781.35	7.5905	0.5838
18	2916.37	0.3648	0.2164	2954.95	2862.36	20.9081	7.3684
19	3026.31	0.1802	0.0358	3045.6	3012.81	5.2161	0.5108
20	3074.53	0.2233	0.0768	3097.68	3045.6	9.3267	1.7353
21	3242.34	0.2668	0.0051	3248.13	3109.25	30.0785	0.7144

Berdasarkan pengamatan awal yaitu dengan adanya larutan kental, berarti reaksi polimerisasi terjadi. Hasil pengukuran memberikan hasil, viskositas diperoleh harga 15-19 pois, dan densitas sebesar 0,95. Hal ini menunjukkan kesesuaian dengan spesifikasi HTPB untuk fuel propelan. Reaksi dengan isosiadat dari berbagai perbandingan HTPB:TDI yaitu 6:1, 7:1, 8 :1 dapat dipakai untuk fuel karena hasil kelenturan atau elastisnya bagus dan tidak ada gelembung udara.

Dilihat dari hasil analisa isomer-isomernya dengan alat FTIR, cis 1.4 = 40 %, vinil 1.2. dan tran1.4, 65 % memenuhi persyaratan untuk sifat fisik fuel.

Tabel.3-10. Hasil analisa FTIR

	Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	418.55	1.0694	0.9148	420.48	412.77	3.2056	2.3912
2	422.41	0.8427	0.7616	430.13	420.48	4.8178	5.0584
3	451.34	0.434	0.2101	455.2	447.49	1.9699	3.3647
4	459.06	0.4871	0.2162	460.99	455.2	0.6691	2.5999
5	482.2	0.4548	0.0392	484.13	478.35	0.7488	2.9593
6	487.99	0.739	0.2685	493.78	484.13	0.33	4.8673
7	549.71	0.4257	0.3585	551.64	545.85	0.8963	1.89
8	673.16	1.1755	0.875	688.59	632.65	29.8179	18.2411
9	694.37	0.5877	0.1904	713.66	690.52	8.7535	1.1829
10	729.09	0.8285	0.6387	769.6	715.59	14.1926	5.9446
11	908.47	0.9733	0.8949	939.33	862.18	22.5187	16.8507
12	968.27	0.4997	0.3271	981.77	941.26	10.5918	4.5238
13	993.34	0.5109	0.3276	1018.41	983.7	9.5599	3.9498
14	1479.4	0.3261	0.2388	1487.12	1467.83	3.4146	1.7408
15	2916.37	0.3287	0.2395	2954.95	2868.15	16.1629	8.4563
16	3003.17	0.0993	0.0044	3014.74	2997.38	1.6841	0.0453
17	3034.03	0.1656	0.0968	3049.46	3014.74	3.8796	1.4043
18	3346.5	-0.0001	0.0003	3350.35	3342.64	-0.0018	0.0017

Tabel.3-11. Hasil analisa FTIR

No.	Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	424.34	0.7297	0.592	428.2	418.55	2.524	3.7069
2	443.63	0.6711	0.6352	445.56	439.77	1.5273	1.7478
3	480.28	0.35	-0.043	491.85	478.35	0.9067	5.7142
4	514.99	0.5269	0.3238	518.85	513.07	0.4033	1.579
5	559.36	1.2697	0.8156	561.29	557.43	1.7233	3.3247
6	569	0.7634	0.2682	572.86	565.14	0.8889	5.0675
7	677.01	0.6451	0.1969	682.8	642.3	11.9777	1.8254
8	694.37	0.9429	0.5044	711.73	684.73	15.1028	3.8898
9	727.16	1.1143	0.8494	779.24	713.66	21.1338	9.1519
10	906.54	1.1962	1.1003	937.4	854.47	29.2396	22.1091
11	966.34	0.6633	0.4441	981.77	939.33	14.186	6.0399
12	993.34	0.6966	0.4607	1018.41	983.7	12.5012	5.4555
13	1417.68	0.3521	0.2228	1425.4	1392.61	5.0755	1.8786
14	1639.49	0.3308	0.2783	1649.14	1620.21	4.0525	2.783
15	2914.44	0.4831	0.3515	2954.95	2868.15	23.7308	12.3189
16	3001.24	0.13	0.005	3016.67	2997.38	2.3562	0.0713
17	3074.53	0.152	0.1253	3132.4	3047.53	4.0041	2.681
18	3197.98	-0.019	0.0014	3207.62	3190.26	-0.345	0.0109

Tabel. 3-12. Hasil analisa FTIR

No.	Peak	Intensity	Corr. Inte	Base (H)	Base (L)	Area	Corr. Are
1	534.28	0.7873	0.5044	536.21	530.42	0.7497	2.2457
2	555.5	0.6285	0.2441	561.29	553.57	0.3747	2.9898
3	565.14	1.4083	1.0488	570.93	561.29	2.2233	5.6896
4	586.36	0.4207	0.3559	590.22	582.5	1.5819	0.826
5	692.44	1.1187	0.893	705.95	655.8	21.5223	12.8795
6	727.16	1.2243	1.0199	773.46	707.88	27.18	17.6462
7	910.4	0.3151	0.2229	939.33	898.83	6.2857	3.287
8	943.19	0.0275	0.0059	962.48	939.33	0.4545	0.2103
9	995.27	0.1742	0.1356	1012.63	962.48	4.01	2.5994
10	1029.99	0.3171	0.2003	1035.77	1014.56	3.1147	1.0944
11	1494.83	0.6578	0.5141	1516.05	1483.26	8.2068	3.872

KESIMPULAN

1. Reaksi polimerisasi terbentuk ,direaksikan dengan isosianat terlalu banyak gelembung udara (keropos) tidak bisa dipakai sebagai fuel binder propelan,perlu perubahan komposisi,lalu reaksi,suhu reaksi dll, yang dapat mempengaruhi hasil polimerisasi,karena polimer bisa dibuat dengan mengatur komposisi,suhu reaksi dll untuk mendapatkan hasil yang mendekati pada sifat-sifat yang diinginkan.
2. Pada proses no.2 hasil polimerisasi tidak bisa dipakai karena berdasarkan hasil analisa FTIR tidak menunjukkan peak-peak sebagai ciri-ciri HTPB untuk fuel.
3. Hasil polimerisasi ini bisa dipakai tapi harus merubah komposisi jumlah monomer,jumlah katalisator, lama reaksi dan kecepatan pengaduk untuk mendapatkan hasil polimer dengan viskositas yang rendah,berat molekul polimer dibawah 5000,
4. Pada proses no.4 hasil bagus sekali viskositas 15 - 19 poic ,warna bening dan densiti 0,97 (sesuai dengan spesifikasi fuel). Direaksikan dengan isosianat pada perbandingan HTPB : TDI = 6 : 1 , 7 : 1 dan 8 : 1 tidak ada gelembung udara dan elastis cukup memenuhi sarat, warna bening ,dengan perbandingan 5 : 1 hasilnya ada gelembung udara agak keras atau kurang elastisitasnya,dengan perbandingan 9 : 1 lembek tidak curing.

DAFTAR PUSTAKA

- Alain Davenas, *Solid Rocket Propulsion Technology*, Technology and Director. SNPE,France, 1993.
- Dubis, C., Desilet, S., Ait-kadi, and Tanguy, P., *Bulk Polimerization of HTPB with TDI;a Kinetics Study using C –NMR Spectroscopy*, J. Appl Polym.Sci., 827-834, 1995.
- Duncan,E,J,S, *Characterzation of a Glycidyl Azide Polimer Composite Propellant : Strain Rate Effect and Relaxion Response*, J. Appl. Polimer Science, 365-375. 1995.
- Merran A. Daniel, *Polyurethane Binder Systems for Polymer Bonded Exploisves*, Weapons Systems Devision, DSTO Defence and Technology Australia. 2006.
- Rosita, Geni, Wibowo, Heri Budi, *Polimerisasi butadien secara anionik dengan katalisator litium*, Jurnal *Antarisa Nasional*, Vol. 10 No.1, Desember 2004, ISSN 1411-5042. 2004.
- S. Parthiban, B. N. Raghunandan and Sampat R. Jain, *Interpenetrating Polymer Networks as Binder for Solid Coposite Propellants*, Departmen of Aerospace Engineering, Indian Intstitutue of Science. Bangalore, pp 147-156. 1992.
- S. S. Bhagawan, N. Prabhakaran, S. S.Rao and K. N. Ninan, *Viscoelastic Behavior of Solid Propellants based on Varios Poymerc Binders*, Defence Science Journal, Vol. 45, Januari 1995 pp 17-23. 1995.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

DATA UMUM

Nama Lengkap : Geni Rosita
Tempat & Tgl. Lahir : Bukittinggi
Jenis Kelamin : Wanita
Instansi Pekerjaan : LAPAN
NIP. / NIM. : 19571014 198903 2 001
Pangkat / Gol. Ruang : IV a
Jabatan Dalam Pekerjaan : Peneliti
Agama : Islam
Status Perkawinan : NIKAH

DATA PENDIDIKAN

SLTA : Tahun: 1980
STRATA 1 (S.1) : Tahun: 1986

ALAMAT

Alamat Rumah

: Vila Dago Pamulang, alam asri 3. Blok j 17 no 3.

Telp. : (021) - 74634206 HP. : 08129727524

Alamat Kantor / Instansi

: LAPAN, RUMPIN - Bogor

Telp. : 021-70289767 Fax. : 7590381

E-mail : genirosita@yahoo.co.id