

KARAKTERISASI FILM PRAPOLIMER AKRILAT SYNOCURE 3131 HASIL IRADIASI BERKAS ELEKTRON

Sugiarto Danu, Marsongko M., Made Sumarti
Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi - Badan Tenaga Atom Nasional

ABSTRAK

KARAKTERISASI FILM PRAPOLIMER AKRILAT SYNOCURE 3131 HASIL IRADIASI BERKAS ELEKTRON. Telah dilakukan percobaan penentuan sifat-sifat fisik dan mekanik film prapolimer akrilat dengan nama dagang Synocure 3131 hasil *curing* dengan radiasi berkas elektron. Monomer reaktif tripropilen glikol diakrilat (TPGDA) yang berfungsi sebagai pengencer ditambahkan dalam Synocure 3131 sebanyak 10, 20, 30, 40, dan 50% berat campuran. *Curing* dilakukan dengan iradiasi berkas elektron pada dosis 20, 40, 60, dan 80 kGy. Hasil percobaan menunjukkan bahwa komposisi dan dosis optimum dicapai pada penambahan TPGDA sebanyak 30% berat dan dosis iradiasi 60 kGy. Pada kondisi tersebut, film mempunyai kekerasan pensil sebesar 3H, tegangan putus 747 Kg/cm² dan perpanjangan putus adalah 2%. Kestabilan termal film tidak tampak dipengaruhi dosis iradiasi antara 20 dan 80 kGy. Penambahan TPGDA sampai 50% berat dalam campuran, menyebabkan kenaikan suhu dekomposisi pada pengurangan berat 10% naik dari 305 menjadi sekitar 320°C.

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF ACRYLATE-PREPOLYMER SYNOCURE 3131 FILM IRRADIATED BY ELECTRON BEAM. An experiment was carried out to determine the physical and mechanical properties of acrylate-prepolymer film with the trade name of Synocure 3131 cured by electron beam. Reactive monomer tripropylene glykol diacrylate (TPGDA) as diluent was added to the Synocure 3131 with the amount of 10, 20, 30, 40, and 50 % by weight of the mixture. Curing was conducted at the doses of 20, 40, 60, and 80 kGy. The experimental result showed that composition and optimum dose were achieved at the addition of 30 % by weight of TPGDA and irradiation dose of 60 kGy. At this condition, film has a pencil hardness of 3H, tensile strength 757 Kg/cm², and elongation at break 2 %. Thermal stability of film was not affected very much by irradiation dose between 20 and 80 kGy. Addition of TPGDA up to 50 % by weight of the mixture, increased decomposition temperature at 10 % weight loss from 305 to 320°C.

PENDAHULUAN

Pada umumnya komponen utama bahan pelapis untuk radiasi terdiri dari prapolimer dan monomer reaktif. Prapolimer harus mengandung molekul yang tidak jenuh, sehingga jika mengalami proses tertentu akan dapat melakukan reaksi ikatan silang dengan molekul tak jenuh lainnya dan berubah dari fase cair menjadi padat [1]. Proses yang dialami dapat berupa pemanasan, radiasi atau oksidasi. Bahan yang mengandung molekul tidak jenuh tersebut harus tetap stabil, dan tidak terpolimerisasi sampai terjadinya reaksi ikatan silang yang diinginkan. Dalam perdagangan, resin atau prapolimer tersebut ada yang sudah dicampur dengan monomer reaktif dalam jumlah sedikit. Pencampuran ini dimaksudkan agar resin tidak terlalu kental sehingga memudahkan penuangan.

Bahan kimia pelapis yang ada dalam perdagangan pada umumnya dapat digolongkan menjadi 4 kelompok yaitu : poliester tak stiren-jenuh, thiol/ene, akrilat, dan epoksi [2].

Sistem yang terdiri dari oligomer akrilat dan monomer akrilat banyak terdapat dalam perdagangan karena kecepatannya melakukan *curing* secara radiasi. Berdasarkan rantai pokok polimer, resin akrilat dapat digolongkan ke dalam senyawa poliester, akrilik, epoksi, poliuretan, polieter, dan silikon [3].

Dalam penelitian ini akan dipelajari karakterisasi film hasil *curing* prapolimer akrilat dengan nama dagang Synocure 3131 setelah dicampur dengan tripropilen glikol diakrilat (TPGDA) menggunakan radiasi berkas elektron. Sifat fisik dan mekanik yang diukur meliputi fraksi-gel, tegangan putus dan perpanjangan putus, kekerasan, serta kestabilan termal.

BAHAN DAN PERALATAN

Bahan

Plat aluminium berukuran (200 x 100 x 1) mm, dipakai sebagai substrat. Prapolimer akrilat dalam TPGDA dengan nama dagang Synocure 3131 diperoleh dari "Cray Valley Product", Inggris, dan monomer reaktif tripropilen glikol diakrilat (TPGDA) dibeli dari BASF, Jerman.

Alat

Sumber radiasi yang dipakai adalah mesin berkas elektron tipe *scanning*, mempunyai tegangan operasi dan arus maksimum masing-masing 300 kV dan 50 mA, buatan Nissin High Voltage Co., Ltd. Jepang.

TATA KERJA

Plat aluminium dibersihkan permukaannya menggunakan air dan aseton sehingga bebas dari kotoran dan lemak. Prapolimer akrilat Synocure 3131 diencerkan dengan monomer reaktif TPGDA sehingga konsentrasi TPGDA dalam campuran dengan Synocure 3131 menjadi 0, 10, 20, 30, 40, dan 50% berat. Sifat-sifat campuran yang diukur meliputi densitas, viskositas, dan kandungan bahan mudah menguap, terdapat pada Tabel 1.

lapisan ±100 µm. Lapisan kemudian diiradiasi dalam atmosfer nitrogen (konsentrasi O₂ <500 ppm) menggunakan mesin berkas elektron pada tegangan operasi 300 kV dan arus 30 mA dengan variasi dosis iradiasi 20, 40, 60, dan 80 kGy. Kekerasan ditentukan dengan pensil standar (Uni Mitsubishi) menurut JIS K 5401 [4]. Tegangan putus dan perpanjangan putus diukur menurut ASTM D 2370 - 68 [5], menggunakan tensile tester model Instron 1122. Fraksi gel film ditentukan dengan ekstraksi menggunakan aseton selama 16 jam. Kestabilan termal ditentukan dengan analisis termogravimetri (TG A), menggunakan TGA-30 buatan Shimadzu. Pengukuran dilakukan dalam atmosfer nitrogen dengan kecepatan aliran 40 ml/menit, dan kecepatan pemanasan 10°C/menit. Berat sampel antara 5 dan 6 mg. Pengukuran spektrum inframerah dilakukan terhadap resin prapolimer Synocure 3131, TPGDA dan film hasil iradiasi, menggunakan Spektrofotometer Inframerah IR-435 buatan Shimadzu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum ditambah TPGDA, resin Synocure 3131 (senyawa prapolimer akrilat) yang dipakai dalam percobaan sudah mengandung TPGDA

Tabel 1. Densitas, viskositas, dan kandungan bahan mudah menguap campuran Synocure 3131 dan TPGDA

%TPGDA dalam Synocure 3131	Densitas (28°C), g/ml	Viskositas (28°C), cp	Kandungan bahan mudah menguap, %
0	1,1032	> 9064	9,83
10	1,1004	7490	10,54
20	1,0868	1930	11,45
30	1,0848	661	12,10
40	1,0772	249	12,44
50	1,0672	110	14,03

Pengukuran kandungan bahan mudah menguap (volatile content) dilakukan menurut ASTM D 2359-81, dengan pemanasan bahan pelapis pada suhu 110 ± 5°C selama 60 menit. Kandungan bahan mudah menguap (K) dihitung menurut persamaan :

$$K (\%) = 100 - [((W_2 - W_1) / S) \times 100]$$

W₁ = berat cawan, W₂ = berat cawan + cuplikan setelah pemanasan, S = berat cuplikan.

Pembuatan cuplikan dilakukan dengan menuangkan campuran pada permukaan plat aluminium, kemudian diratakan dengan batang silinder kaca untuk mendapatkan tebal

dalam jumlah sedikit. TPGDA merupakan monomer difungsional yang banyak dipakai sebagai pengencer untuk bahan pelapis radiasi. Hal ini karena sifatnya yang mudah melarutkan prapolimer akrilat, mempunyai reaktivitas yang tinggi, viskositasnya rendah, dan mempunyai *Draize Rating* yang rendah. Dari Tabel 1 terlihat bahwa kenaikan konsentrasi TPGDA, menurunkan densitas, viskositas, dan menaikkan kandungan bahan mudah menguap. Campuran mempunyai densitas antara 1,0672 dan 1,1032 g/ml. Viskositas Synocure 3131 sangat tinggi yaitu lebih tinggi dari 9000 cp. Viskositas yang tinggi akan menyulitkan pemilihan alat

pelapis pada proses pelapisan. Penambahan TPGDA sebanyak 30% menurunkan viskositas Synocure 3131 menjadi 661 cp. sehingga memudahkan pelapisan. Penambahan TPGDA menaikkan kandungan bahan mudah menguap karena titik didih TPGDA relatif rendah dibanding titik didih prapolimer Synocure. Pada konsentrasi TPGDA 30%, kandungan bahan mudah menguap dari campuran adalah 12,10%.

Tingkat polimerisasi film hasil iradiasi campuran Synocure 3131 dan TPGDA dinyatakan dengan fraksi-gel, dan datanya terdapat pada Tabel 2.

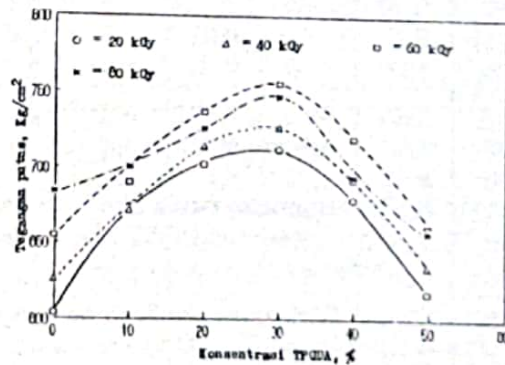
kuler lebih cepat dibandingkan reaksi propagasi rantai sehingga menurunkan efisiensi pembentukan gel. Selain itu konsentrasi TPGDA yang terlalu tinggi juga menyebabkan penurunan ketidakterjenuhan polimer. Akibatnya, film hasil curing selain terdiri dari polimer berikatan silang juga mengandung homopolimer dari TPGDA. Karena efisiensi pembentukan homopolimer umumnya rendah pada intensitas radiasi yang tinggi, maka fraksi-gel akan turun. Dengan demikian, pada dosis tertentu akan terdapat fraksi-gel maksimum sebagai fungsi konsentrasi monomer dalam campuran.

Tabel 2. Fraksi-gel film Synocure 3131 hasil iradiasi berkas elektron

% TPGDA Synocure 3131	Fraksi-gel, %			
	Dosis, kGy			
	20	40	60	80
0	98,51	98,73	99,16	99,03
10	98,58	99,17	99,24	98,73
20	98,77	99,25	99,58	99,45
30	99,32	99,68	99,82	99,79
40	99,38	99,54	99,84	99,68
50	98,81	99,05	99,54	99,48

Sebelum dicampur dengan TPGDA, film Synocure 3131 mempunyai fraksi-gel 98,51% pada dosis iradiasi 20 kGy. Kenaikan dosis iradiasi hanya sedikit menaikkan fraksi-gel, dan tidak dapat mencapai 100%. Kenaikan dosis lebih lanjut hanya menaikkan jumlah ikatan silang dan densitas ikatan silang, tetapi tidak menaikkan fraksi-gel. Fraksi-gel maksimum yang dapat dicapai adalah 99,84% yaitu pada dosis 60 kGy dengan konsentrasi TPGDA sebesar 40%. Nilai fraksi-gel ini terbatas karena adanya rantai yang berkembang (growing chains) tidak dapat bergerak atau terperangkap pada saat pembentukan gel, sedangkan monomernya sendiri telah habis. Hal ini mirip dengan hasil penelitian CHARLESBY dan WYCHERLY yang dikutip oleh HOFFMAN [6] pada penelitian curing campuran poliester tak stiren-jenuh. Penambahan TPGDA hanya sedikit menaikkan fraksi-gel. Konsentrasi TPGDA lebih dari 40% pada umumnya menurunkan fraksi-gel. Konsentrasi TPGDA yang terlalu tinggi menurunkan viskositas campuran sehingga meningkatkan mobilitas makroradikal. Mobilitas makroradikal ini akan menyebabkan terjadinya reaksi terminasi bimole-

Tegangan putus lapisan hasil iradiasi terdapat pada Gambar 1.

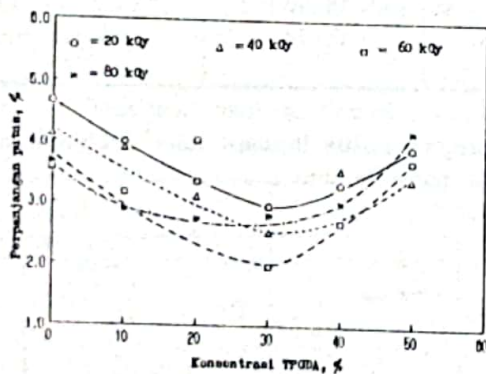


Gambar 1. Tegangan putus film pada berbagai konsentrasi TPGDA dan dosis iradiasi

Pada percobaan iradiasi 20, 30, dan 60 kGy kenaikan dosis iradiasi menaikkan tegangan putus karena kenaikan jumlah ikatan silang. Pada dosis 80 kGy terjadi penurunan nilai tegangan putus, hal ini disebabkan karena dosis menurun. Dosis yang terlalu tinggi menyebabkan densitas ikatan silang (cross link density)

menjadi sangat tinggi dan degradasi sudah mulai terjadi. Akibatnya film menjadi rapuh sehingga tegangan putus menurun. Kenaikan konsentrasi TPGDA sampai 30% berat menaikkan tegangan putus. Kenaikan konsentrasi lebih lanjut menurunkan tegangan putus karena fraksi homopolimer dalam campuran dengan kopolimer ikatan silang menjadi semakin besar.

Pada proses pembentukan rantai menjadi struktur jaringan, mobilitas polimer turun. Jika film ditarik atau diregangkan, rantai polimer yang tidak berikatan silang relatif mudah bergerak satu terhadap yang lain sehingga menghasilkan regangan yang tinggi sebelum putus. Apabila jumlah ikatan antara rantai-rantai polimer ini meningkat, rantai polimer menjadi tidak mudah bergerak satu terhadap yang lain sehingga nilai tegangan putus menjadi semakin tinggi sedangkan perpanjangan putusnya menurun. Kurva-kurva pada Gambar 1 dan 2 menunjukkan bahwa film dengan tegangan putus yang tinggi mempunyai perpanjangan putus yang rendah.



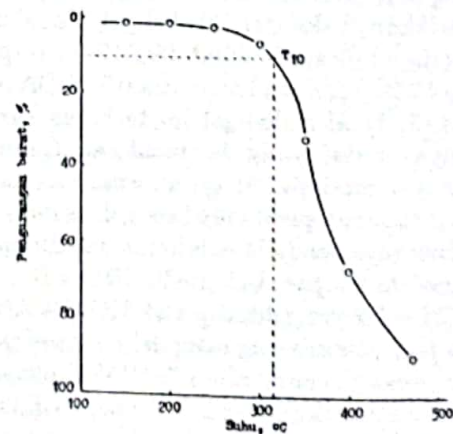
Gambar 2. Perpanjangan putus film pada berbagai konsentrasi TPGDA dan dosis iradiasi

Tegangan putus film Synocure 3131 besarnya antara 605 (konsentrasi TPGDA: 0%; dosis: 20 kGy) dan 757 Kg/cm² (konsentrasi TPGDA: 30%; dosis: 60 kGy). Besarnya perpanjangan putus berkisar antara 2 dan 4,67%. Dibandingkan dengan beberapa senyawa lain yang ada dalam perdagangan, Synocure 3131 mempunyai tegangan putus yang tinggi. Sebagai contoh, poliester akrilat Laromer PE 55F (BASF), poliester akrilat Laromer PE 46 (BASF) dan oligoester akrilat Aronix 7100 (Toagosei Chem. Ind), masing-masing hanya mempunyai tegangan putus maksimum 200, 250, dan 340

kg/cm² [7]. Synocure 3131 hasil iradiasi mempunyai tegangan putus tinggi dan perpanjangan putus rendah, sehingga dapat digolongkan ke dalam film yang mempunyai sifat kuat, keras tetapi agak rapuh.

Kekerasan film hasil iradiasi disajikan dalam Tabel 3. Semakin tinggi dosis iradiasi, semakin banyak radikal yang terjadi. Semakin banyak radikal yang terjadi semakin banyak rantai yang terbentuk tiap satuan waktu, sehingga semakin banyak pula jumlah ikatan rantai yang terjadi. Kenaikan jumlah ikatan silang yang dapat ditunjukkan oleh kenaikan fraksi-gel, akan menaikkan kekerasan. Kekerasan maksimum terjadi pada dosis 60 kGy. Pada dosis 80 kGy, film tetap mempunyai kekerasan yang sama yaitu 3H. Menurut H.P SENG [8], kekerasan maksimum suatu film selain ditentukan oleh jenis radiasi, juga ditentukan jenis dan konsentrasi campuran (prapolimer dan monomer). Pada dosis yang sama kenaikan konsentrasi TPGDA dalam campuran tidak berpengaruh pada kekerasannya.

Kestabilan termal film ditentukan dengan mengukur pengurangan berat sampel pada kecepatan pemanasan 10°C/menit menggunakan analisis termogravimetri. Suhu awal terjadinya dekomposisi T₀ dan suhu pada pengurangan berat 10% (T₁₀) merupakan faktor terpenting untuk mengetahui kestabilan termal suatu polimer [9]. Penentuan T₁₀ dari kurva termogram lebih mudah dan lebih teliti dibanding T₀, sehingga dalam uraian kestabilan termal ditekankan pada harga T₁₀. Gambar 3 menunjukkan kurva termogravimetri film yang dibuat



Gambar 3. Dekomposisi termal film campuran Synocure 3131 dan TPGDA, pada konsentrasi TPGDA 30% dan dosis iradiasi 60 kGy. Kecepatan pemanasan: 10°C/menit; N₂: 40 ml/menit.

Tabel 3. Kekerasan film Synocure 3131 hasil iradiasi berkas elektron

% TPGDA dalam Synocure 3131	Kekerasan pensil*			
	Dosis, kGy			
	20	40	60	80
0	H	2H	3H	3H
10	H	2H	3H	3H
20	H	2H	3H	3H
30	H	2H	3H	3H
40	H	2H	3H	3H
50	H	2H	3H	3H

Keterangan : urutan kekerasan dari lunak ke keras : H, 2H, 3H

pada konsentrasi TPGDA 30% dan dosis 60 kGy.
 T_{10} terjadi pada suhu 312°C.

Dekomposisi termal film pada berbagai konsentrasi TPGDA dan dosis iradiasi terdapat pada Tabel 4.

Tabel 4. Kestabilan termal film Synocure 3131 hasil iradiasi berkas elektron. Kecepatan pemanasan 10°C.

% TPGDA dalam Synocure 3131	Dosis kGy	Berat yang hilang, %								T_{10} °C
		Suhu, °C								
		100	150	200	250	300	350	400	450	
0	20	1,2	1,3	1,9	3,0	8,8	41,0	66,0	91,7	306
10		1,0	1,5	1,8	2,8	8,2	38,0	68,5	90,5	306
20		1,0	1,3	1,8	2,5	6,6	33,1	62,8	91,0	310
30		1,1	1,3	1,8	2,3	6,0	30,7	65,8	90,9	312
40		0,9	1,0	1,2	2,0	5,8	29,0	65,5	91,2	315
50		1,0	1,2	1,5	2,1	5,8	30,0	64,7	92,7	320
0	40	1,0	1,3	2,0	3,2	8,6	38,1	68,0	92,2	305
10		1,0	1,3	2,0	3,1	8,5	37,0	67,9	92,1	307
20		1,0	1,0	1,5	2,3	6,4	31,8	66,1	90,8	309
30		1,0	1,0	1,4	2,0	6,1	30,9	66,0	90,8	313
40		0,8	0,9	1,0	1,7	5,7	28,0	67,5	91,1	315
50		0,5	0,8	1,0	1,9	5,4	30,0	62,2	92,1	322
0	60	1,5	1,9	2,3	3,4	8,7	40,0	69,0	92,2	304
10		1,5	1,8	2,0	3,0	8,6	37,0	71,0	92,6	305
20		1,0	1,2	1,8	2,6	6,5	34,9	79,0	90,1	307
30		1,0	1,1	1,5	2,2	6,5	32,7	67,0	90,0	312
40		0,9	1,0	1,3	2,2	5,6	28,2	67,2	91,4	314
50		1,0	1,2	1,8	2,4	5,7	29,0	68,0	90,5	319
0	80	1,4	2,0	2,2	3,2	8,8	38,9	65,2	93,9	305
10		1,8	1,9	2,2	3,2	8,6	38,5	79,1	92,8	306
20		1,2	1,4	1,7	2,3	7,0	32,9	76,5	93,0	310
30		1,0	1,0	1,3	2,0	6,7	30,5	66,5	90,5	312
40		0,8	1,0	1,6	2,1	5,8	29,0	68,0	93,5	315
50		1,0	1,0	1,2	2,0	5,9	30,8	68,0	92,7	318

Kenaikan dosis tidak tampak berpengaruh pada kestabilan termal film. Kenaikan konsentrasi TPGDA sampai 50% menaikkan kestabilan termal film. Hal ini terlihat jelas pada T_{10} . Kenaikan konsentrasi TPGDA sampai 50% pada dosis 20, 40, 60, dan 80 kGy menyebabkan kenaikan T_{10} masing-masing dari 306 menjadi 320°C, 305 - 322°C, 304 - 319°C dan 305 - 318°C.

Spektrum inframerah Synocure 3131, monomer TPGDA, dan lapisan hasil *curing* terlihat pada Gambar 4.

TPGDA maupun Synocure 3131. Hilangnya atau berkurangnya gugus tersebut karena adanya reaksi polimerisasi membentuk jaringan ikatan silang pada saat iradiasi.

KESIMPULAN

1. Dosis iradiasi antara 20 dan 80 kGy mempengaruhi tegangan putus, perpanjangan putus serta kekerasan, tetapi tidak tampak mempengaruhi kestabilan termal campuran film Synocure 3131 dengan TPGDA. Konsentrasi TPGDA sampai 50% mempengaruhi fraksi-gel, tegangan putus, perpanjang-



Gambar 4. Spektrum infra merah prapolimer Synocure 3131, TPGDA, dan film hasil *curing* campuran Synocure/TPGDA (80/20) pada dosis 60 kGy

Keterangan: --- = Synocure; — = TPGDA; - - - = Hasil *curing*

Synocure 3131 sudah mengandung TPGDA sehingga memberikan daerah serapan yang sama seperti yang dihasilkan ketika mengukur TPGDA sendiri. Perbedaannya terletak pada kekuatan serapannya. Serapan gugus TPGDA dari Synocure lebih lemah karena konsentrasinya lebih kecil dibanding pada monomer TPGDA. Serapan ini terlihat jelas pada bilangan gelombang dekat 1650 cm^{-1} (C - C), 3000 cm^{-1} (gugus vinil), dan dekat 1450 cm^{-1} (hidrokarbon) [10]. Synocure 3131 sebagai prapolimer mempunyai daerah serapan kira-kira antara 840 - 800, dan 800 - 780 cm^{-1} . Spektrum film hasil iradiasi menunjukkan adanya gugus fungsional yang hilang atau berkurang baik yang ada pada

an putus dan kestabilan termal tetapi tidak mempengaruhi kekerasan film.

2. Kondisi optimum percobaan dicapai pada konsentrasi TPGDA 30% dan dosis iradiasi 60 kGy. Pada kondisi tersebut film mempunyai kekerasan 3H, tegangan putus 757 Kg/cm^2 , perpanjangan putus 2%, dan suhu dekomposisi 312°C pada pengurangan berat 10%.
3. Sifat film pada umumnya kuat, keras, tetapi rapuh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih pada Sdr. Sungkono dan seluruh operator di

fasilitas berkas elektron yang telah membantu penelitian ini hingga selesai.

DAFTAR PUSTAKA

1. Holman, R., and Oldring, P., U.V. & EB Curing Formulation for Printing Inks Coatings & Paints, SITA, London (1988) 21.
2. National Paint & Coatings Association, Save Handling and Use of Ultra Violet / Electron Beam (UV/EB) Curable Coatings, NPCA, Washington (1980) 1.
3. Senich, G.A., and Florin, R.E., Radiation Curing of Coating, Rev. Macromol. Chem. Phys. **C 24** 2 (1984) 283.
4. Japanese Industrial Standard, Testing Methods for Organic Coatings, JIS K 5401 (1970) 72.
5. American Society For Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, partb 27, ASTM, Philadelphia (1982) 477.
6. Hoffman, A.S., Electron curing of coating : Present status, Radiation Processing Techniques (Proc. Panel Seoul, 1970), IAEA, Seoul (1970) 347.
7. Seng, H.P., Test methods for the characterization of UV - and EB - cured printing varnishes. Part 2, Beta - gamma 4 (1989) 25.
8. Danu, S., Sundardi, F., Trimulyadi I, G., Kicky, L.T.K., Sunarni, A., and Darsono., Radiation curing of commercial acrylate and polyester based compound for surface coating", First Indonesia - JICA Polymer Symposium Cum - Workshop, 1989, RDCAP-LIPI, Bandung (1989) 160.
9. Chiang, W.J., and Chiang, W.C., Condensation polymerization of multifunctional monomers and properties of related polyester resins, J. Appl. Pol. Sc. **35** 6 (1988) 1433.
10. Sastrohamidjojo, H., Spektroskopi Inframerah, Penerbit : Liberty, Yogyakarta (1992) 17.

DISKUSI

Siti Amini:

1. Mengapa menggunakan radiasi elektron. Bagaimana kalau dengan radiasi γ ?
2. Apakah ada pertimbangan lainnya pada penggunaan TPGDA sebagai senyawa yang dwifungsional dan *cross linking bridge agent*?. Dapatkah digunakan senyawa lain, atau apa saja persyaratannya untuk bahan *cross link agent* tersebut.

Sugiarto Danu:

1. Radiasi berkas elektron mempunyai energi yang tinggi dan laju dosis yang tinggi, tetapi daya tembusnya rendah karena merupakan partikel. Radiasi- γ merupakan gelombang elektromagnetik, energi dan laju dosisnya relatif rendah tetapi daya tembusnya tinggi, sehingga untuk curing lapisan lebih efisien jika dipakai radiasi berkas elektron.
2. Penggunaan TPGDA sebagai *cross link agent* didasarkan pertimbangan bahwa TPGDA cukup reaktif sebagai pelarut prapolimer yang baik dan toksisitasnya cukup rendah. Sebagai *cross link agent* harus mempunyai ikatan rangkap dan sifat-sifat lainnya adalah toksisitas, penguapan, titik nyala, viskositasnya rendah, dan fungsionalitasnya tinggi.

Indro Yuwono:

Disebutkan kondisi optimum pada 30% dan 60 kGy, tetapi dalam kondisi ini kerapuhan meningkat, berarti perlu usaha lain untuk meningkatkan/mengurangi kerapuhan ini. Mohon penjelasan.

Sugiarto Danu:

Kerapuhan sifat lapisan dapat dikurangi dengan pemilihan monomer yang mempunyai fungsionalitas rendah atau dengan dosis radiasi yang lebih rendah. Dari hasil penelitian dapat dipilih kombinasi dosis dan konsentrasi untuk mendapatkan sifat-sifat yang diinginkan.

Rahmat Satoto:

1. Bagaimana cara mengukur ρ ? Berapa ketelitian metode tersebut?. Apakah relevan menuliskan $\rho = 1,0631 - 1,0000$.
2. Pengukuran luas penampang fil untuk testing dengan Instron. Berapa kecepatan tarik?. Tebal film dan bentuk *dumbell*. Mohon dijelaskan.
3. Aktilet Synocure ini dimaksudkan untuk *coating* apa?. Tentunya akan sangat beda untuk laju, logam kaca atau yang lain, juga untuk melindungi zat kimia atau perlindungan mekanik. Karakterisasinya tentu disesuaikan dengan aplikasi. Abrasi dan koefisien muai (panas) dan sifat *peeling adhesive* mungkin perlu untuk karakterisasi bahan *coating*.

Sugiarto Danu:

1. Pengukuran densitas ρ dilakukan dengan piknometer. Penulisan $\rho = 1,0631 - 1,0000$ relevan karena data penimbangan berat dilakukan dari neraca analitis.
2. Pengukuran testing dengan Instron: kecepatan tarik 100 mm/menit, tebal film 100 μm , bentuk *dumbell* adalah empat persegi panjang dengan ukuran 5 x 0,5 cm dan jarak antara penjepit 3 cm.
3. Percobaan dimaksudkan untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik lapisan secara umum. Sifat-sifat untuk *coating* sangat banyak sekali bergantung pada sifat produk akhir yang diinginkan. Aplikasi-nya harus disesuaikan dengan produk akhir tersebut.

Herlan Martono:

Apakah bisa penentuan homogenitas ditentukan secara makro dengan pengulangan percobaan, jika untuk bahan yang sama dengan pengulangan percobaan hasil kekuatan tekannya sama. Berarti bahan homogen.

Sugiarto Danu:

Homogenitas dapat ditentukan secara makro dengan pengulangan percobaan, tetapi harus ditentukan secara statistik yaitu selang kepercayaannya yang diinginkan.