

PAIR/P. 897/96

LAMINASI KERTAS PADA PERMUKAAN PAPAN
DENGAN TEKNIK RADIASI*

SUGIARTO DANU** DARSONO** dan ANIK SUNARNI

865#

LAMINASI KERTAS PADA PERMUKAAN PAPAN KAYU DENGAN TEKNIK RADIASI*

Sugiarto Danu**, Darsono**, dan Anik Sunarni**

ABSTRAK

LAMINASI KERTAS PADA PERMUKAAN PAPAN KAYU DENGAN TEKNIK RADIASI. Percobaan laminasi kertas pada permukaan papan kayu telah dilakukan menggunakan radiasi berkas elektron dan sinar ultra-violet (UV). Resin poliester tak jenuh, uretan akrilat, dan poliester akrilat dipakai sebagai bahan pelapis setelah dicampur dengan tripropilen glikol diakrilat (TPGDA) dan aditif. Pada penggunaan radiasi UV, bahan pelapis dicampur dengan fotoinisiator 2,2 dimetil-2-hidroksi asetofenon. Dalam percobaan ini dipelajari pengaruh komposisi bahan pelapis, dosis iradiasi, dan sistem pelapisan, terhadap sifat-sifat lapisan yang telah diiradiasi. Parameter yang diukur meliputi kekerasan, kilap, adesi dan ketahanan terhadap bahan kimia untuk keperluan sehari-hari, pelarut, dan noda. Hasil percobaan menunjukkan bahwa kekerasan lapisan hasil iradiasi berkas elektron lebih tinggi dibanding apabila menggunakan radiasi UV. Pada umumnya lapisan tahan terhadap bahan kimia, pelarut dan noda, kecuali NaOH 10 %. Variasi data yang diperoleh pada pengukuran adesi menggunakan uji tarik ditunjukkan oleh perbedaan besarnya tegangan tarik maupun bidang terlepasnya lapisan.

* Disajikan pada "Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardoyo" 1996. Teknologi Polimer dan Membran, ITB, 24-25 Oktober 1996.

** Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN, Jakarta

ABSTRACT

LAMINATION OF PAPER ON WOOD PANEL SURFACE BY RADIATION TECHNIQUE. An experiment on paper laminating of wood panel has been done by using electron beam and ultra-violet (UV) light radiation. Unsaturated polyester, urethane acrylate, and polyester acrylate resins were used as coating materials, after added with tripropylene glycol diacrylate (TPGDA) and additives. In case of UV radiation, the coating materials were added with 2,2-dimethyl-2-hydroxy acetophenone photoinisiator. This experiment was carried out to study the effects of coating material composition, irradiation dose, and coating system on the irradiated film properties. The parameters observed were hardness, glossy, adhesion, and household chemicals, solvent and stain resistances. Experimental results showed that the hardness of film produced by electron beam was higher than that of UV curing. In general, the films produced were resistant to chemicals, solvent, and stain, except for NaOH 10 %. Data variation in adhesion measurement using pull-off test was indicated by the difference of tensile stress and site of fracture in the system.

PENDAHULUAN

Teknologi radiasi telah dipakai untuk pelapisan permukaan kertas menggunakan radiasi berkas elektron dan sinar ultra-violet (UV) secara komersial [1]. Produk komersial tersebut dipakai untuk kayu lapis yang dilaminasi kertas, label, kertas pembungkus, tas belanja dll. Perusahaan Universal Woods di Amerika [2], telah melakukan laminasi kertas pada permukaan papan partikel secara komersial menggunakan radiasi berkas elektron.

Proses pengeringan (*curing*) secara radiasi mempunyai beberapa keunggulan antara lain : proses berlangsung sangat cepat, tidak memerlukan katalisator dan pelarut, serta tidak membutuhkan ruangan yang besar. Proses laminasi kertas dan pelapisan permukaan dapat dilakukan sekaligus menggunakan radiasi berkas elektron. Beberapa penelitian pelapisan permukaan beberapa macam substrat kayu telah dilakukan menggunakan bahan pelapis poliester tak jenuh dan polimer akrilat [3,4].

Tujuan penelitian ini ialah untuk mempelajari sifat-sifat lapisan yang diiradiasi dengan berkas elektron dan ultra-violet pada permukaan kayu lapis yang sudah dilaminasi dengan kertas. Dalam penelitian ini ada 2 proses yang dilakukan yaitu, pertama, pelapisan permukaan kayu lapis yang sudah dilaminasi kertas menggunakan radiasi berkas elektron dan sinar-UV, dan kedua, laminasi dan pelapisan permukaan kayu lapis menggunakan radiasi berkas elektron. Sebagai bahan pelapis dipakai resin poliester tak jenuh, uretan akrilat, dan poliester akrilat yang sudah dicampur monomer reaktif dan aditif. Parameter yang diukur meliputi kilap, kekerasan, adesi, serta ketahanan terhadap bahan kimia, pelarut, dan noda.

BAHAN DAN METODE

Bahan. Kayu lapis yang sudah dilaminasi kertas dan kertas bermotif serat kayu dengan ketebalan 22 g/m^2 diperoleh dari PT. Perfekta Nusa, Jakarta. Resin poliester tak jenuh dengan nama komersial Polylite 8009 dibeli dari PT. Pardic Jaya, Tangerang. Uretan akrilat dengan nama komersial Laromer LR 8739, poliester akrilat dengan nama komersial Laromer PE 46, dan monomer tri-

propilen glikol diakrilat (TPGDA) dibeli dari BASF, Jerman. Talk sebagai bahan pengisi lapisan dasar adalah buatan Merck. Aditif silikon dioksida dengan nama komersial Syloid, buatan Grace, Jerman, merupakan bahan untuk mengurangi kilap (*matting-agent*). Metil polisiloksan dengan nama komersial Baysilone OL 17, berfungsi untuk meratakan lapisan (*wetting-agent*), buatan Bayer, Jerman.

Alat. Laminasi kertas dan pelapisan permukaan dilakukan menggunakan alat pelapis tipe rol. Sumber radiasi yang dipakai adalah mesin berkas elektron tipe *scanning* yang mempunyai tegangan operasi dan arus maksimum masing-masing 300 kV dan 50 mA, buatan Nissin High Voltage Co. Ltd., Jepang. Sumber radiasi UV terdiri dari 1 lampu dengan daya 80 Watt/cm, buatan IST Strahlentechnik GmbH, Jerman.

Percobaan 1. Pelapisan kayu lapis yang sudah dilaminasi kertas.

Kayu lapis (ukuran: 400 mm x 200 mm x 4 mm) yang sudah dilaminasi kertas dilapisi bahan pelapis kemudian diiradiasi. Perbandingan berat resin dan TPGDA adalah 50:50. Penentuan komposisi ini didasarkan pertimbangan bahwa bahan pelapis yang dihasilkan masih mempunyai viskositas yang sesuai untuk pelapisan, walaupun sudah ditambah bahan *matting-agent* silikon dioksida. Selain itu, diharapkan lapisan yang dihasilkan mempunyai sifat yang baik. Apabila jumlah monomer dalam campuran terlalu tinggi, viskositas campuran rendah dan dapat menghasilkan lapisan yang rata, tetapi sifat lapisan yang dihasilkan kurang baik, dan sebaliknya. Kedalam campuran ditambahkan silikon dioksida sebanyak 0, 5, dan 10 % berat, diikuti dengan penambahan metil polisiloksan sebanyak

0,2 % berat campuran resin dan monomer. Iradiasi dilakukan dengan mesin berkas elektron pada dosis 60, 80, dan 100 kGy. Tebal lapisan rata-rata antara 20 dan 27 g/m². Iradiasi UV dilakukan pada kecepatan konveyor 3 m/menit.

Percobaan 2. Laminasi dan pelapisan permukaan kayu lapis.

Kayu lapis (ukuran: 400 mm x 200 mm x 4 mm) diampelas menggunakan kertas ampelas No. 240, lalu dilapisi bahan pelapis dasar, kemudian diiradiasi dengan berkas elektron pada dosis iradiasi 30 kGy. Dengan dosis 30 kGy, lapisan sudah cukup kering untuk diampelas, dan mempunyai adesi yang kuat dengan lapisan di atasnya. Lapisan diampelas lagi, dilapisi bahan pelapis atas, dilaminasi kertas, dilapisi lagi, dan selanjutnya diiradiasi berkas elektron pada dosis 20, 30, dan 40 kGy. Pada percobaan ini bahan pelapis atas berfungsi sebagai bahan perekat dan bahan pelapis. Semua pelapisan dilakukan menggunakan alat pelapis tipe rol. Bahan pelapis dasar terdiri dari campuran resin poliester akrilat, TPGDA, dan talk dengan perbandingan 50 : 40 : 10, sedangkan bahan pelapis atas merupakan campuran poliester akrilat dan TPGDA dengan perbandingan 70 : 30. Komposisi ini didasarkan pada optimasi percobaan pelapisan beberapa macam kayu menggunakan resin poliester akrilat [5].

Variasi dosis iradiasi pada percobaan 1 berbeda dan lebih tinggi dibanding percobaan 2 karena reaktivitas poliester tak jenuh dan uretan akrilat lebih rendah dibanding poliester akrilat. Hal ini ditentukan dari percobaan pendahuluan.

Pengujian. Kilap lapisan diukur pada sudut datang 60° menggunakan Gloss-meter buatan ToyoSeiki sesuai ASTM D 523-80

[6]. Kekerasan pendulum diukur dengan Pendulum Hardness Rocker dengan metode Koenig sesuai dengan ISO 1522-1973 (E) [7]. Adesi ditentukan menggunakan Tensile Tester dengan metode uji tarik sesuai ISO 4624-1978 (E) [8]. Ketahanan terhadap bahan kimia, pelarut, dan noda dilakukan dengan uji tetes (ASTM D 1308-79) (1982) [9].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Percobaan 1

Viskositas. Viskositas sangat penting dalam pelapisan permukaan karena menentukan kondisi permukaan lapisan. Penentuan komposisi campuran resin/TPGDA didasarkan pertimbangan bahwa bahan pelapis yang dihasilkan mempunyai viskositas yang sesuai untuk pelapisan walaupun sudah ditambah silikon dioksida. Selain itu, diharapkan sifat lapisan hasil iradiasi mempunyai sifat yang baik. Pada penggunaan alat pelapis tipe rol, semakin kental bahan pelapis semakin bergelombang lapisan yang dihasilkan. Viskositas bahan pelapis poliester tak jenuh dan uretan akrilat disajikan pada Tabel 1. Penggunaan silikon dioksida 10% berat menaikkan viskositas poliester tak jenuh dan uretan akrilat masing-masing dari 193 dan 239 cp menjadi 706 dan 748 cp. Dengan silikon dioksida 10% lapisan yang dihasilkan sudah mulai terlihat bergelombang.

Kilap. Kilap dapat diatur atau dikurangi dengan pemberian *matting agent* dalam jumlah cukup dan terdispersi ke seluruh lapisan, atau dengan penyusutan volume selama pengeringan (*curing*), biasanya minimum 30 %. Menurut GARRAT [10], dengan cara iradiasi penurunan kilap mudah dicapai melalui penambahan *mat-*

ting agent dibanding dengan penyusutan, karena bahan pelapis radiasi tidak mengandung bahan yang mudah menguap. Dalam percobaan ini, kilap lapisan yang diiradiasi berkas elektron pada beberapa variasi dosis dan komposisi silikon dioksida diperlihatkan pada Tabel 2. Dosis tidak terlihat pengaruhnya pada kilap. Penggunaan silikon dioksida sebanyak 10 % menurunkan kilap antara 32 % dan 51 %. Kilap lapisan poliester tak jenuh lebih tinggi dibanding lapisan uretan akrilat. Demikian juga kilap pada lapisan yang diiradiasi sinar-UV (Tabel 3). Tidak terlihat perbedaan yang berarti antara penggunaan fotoinisiator sebanyak 1 dan 2 %. Penambahan silikon dioksida sebanyak 10 % menurunkan kilap lapisan poliester tak jenuh dari 75 dan 79 % masing - masing menjadi 33 dan 36 %. Nilai kilap lapisan poliester tak jenuh lebih tinggi dibanding lapisan uretan akrilat. Kilap lapisan yang diiradiasi berkas elektron lebih tinggi dibanding lapisan yang diiradiasi sinar-UV.

Kekerasan. Kekerasan pendulum lapisan yang diiradiasi berkas elektron disajikan pada Tabel 4. Dari data pada Tabel 4 terlihat bahwa kenaikan dosis iradiasi dari 60 menjadi 80 kGy meningkatkan kekerasan lapisan walaupun tidak begitu besar. Salah satu contoh struktur kimia kopolimer yang terjadi setelah iradiasi campuran uretan akrilat - TPDA terdapat pada Gambar 1. Peningkatan konsentrasi silikon dioksida tidak tampak pengaruhnya terhadap kekerasan. Kekerasan lapisan pada penggunaan radiasi UV terlihat pada Tabel 5. Secara garis besar tidak terlihat pengaruh silikon dioksida maupun perbedaan penggunaan fotoinisiator 1 dan 2 %, terhadap kekerasan lapisan. Apabila dibandingkan, kekerasan lapisan pada penggunaan radiasi berkas elektron relatif lebih

tinggi dibanding apabila menggunakan radiasi UV.

Adesi. Adesi suatu sistim lapisan dapat ditentukan menggunakan metode uji tarik, yaitu dengan mengukur besarnya tegangan tarik yang diperlukan untuk melepaskan atau memisahkan lapisan, dengan arah tegak lurus substrat. Menurut SICKFELD [11], pengukuran adesi menggunakan metode uji tarik harus memperhatikan kohesi dalam lapisan atau substrat. Pola kerusakan perlu dipertimbangkan selain nilai tegangan tarik. Nilai tegangan tarik pada sistim lapisan poliester tak jenuh dan uretan akrilat terdapat pada Tabel 6 dan 7. Dari kedua tabel tersebut terlihat adanya perbedaan nilai tegangan tarik pada beberapa contoh uji. Perbedaan ini antara ulangan I dan ulangan II atau di dua tempat yang berbeda pada contoh uji yang sama. Pola kerusakan sebagian besar terjadi pada kohesi kertasnya dan nilai tegangan tarik relatif rendah. Nilai maksimumnya hanya $5,6 \text{ kg/cm}^2$ pada penggunaan radiasi berkas elektron, dan $4,2 \text{ kg/cm}^2$ pada penggunaan radiasi-UV. Tegangan tarik tersebut relatif rendah jika dibandingkan tegangan tarik antara lapisan dasar dan lapisan atas resin epoksi akrilat pada permukaan kayu yang diiradiasi berkas elektron, yang nilainya $15,47 \text{ kg/cm}^2$ [12]. Dari data tegangan tarik pada Tabel 6 dan 7, tidak terlihat jelas pengaruh dosis, konsentrasi silikon dioksida, dan konsentrasi fotoinisiator terhadap adesi. Penelitian adesi lapisan polimer yang diiradiasi berkas elektron pada permukaan papan kayu menunjukkan perbedaan nilai tegangan tarik [13]. Kesulitan dalam menyimpulkan hasil pengujian adesi menggunakan metode uji tarik menurut ASKIENAZY dan ZWANENBURG [14], disebabkan ketidakseragaman kondisi permukaan. Ketidakseragaman tersebut dapat disebabkan karena cacat, atau kotoran berupa lemak

atau partikel lain yang sangat berpengaruh terhadap adesinya.

Ketahanan terhadap Bahan kimia, Pelarut, dan Noda. Hasil pengujian menunjukkan semua lapisan yang diiradiasi berkas elektron tahan terhadap natrium karbonat 1 %, asam asetat 5 %, asam sulfat 10 %, alkohol 50 %, pengencer, dan spidol permanen warna merah, biru, dan hitam, kecuali terhadap NaOH 10 %. Lapisan hasil iradiasi UV tidak tahan terhadap NaOH 10 %, asam sulfat 10 % dan pengencer.

Sebagai gambaran, sifat campuran poliakrilat (Laromer PE 55 F) dan uretan akrilat komersial (Laromer LR 8739) dengan perbandingan 1 : 1 dan sudah dicampur TPGDA dan diiradiasi sinar-UV pada kecepatan 10 m /menit dengan fotoinisiator Lucirin BDK (4 %) dan fotoinisiator campuran Lucirin BDK (1 %), benzofenon (2 %), dan metil dietanol amin (3 %), mempunyai kekerasan pendulum masing-masing 100 dan 35 detik, tidak tahan terhadap bahan kimia etil asetat dan butil asetat, serta tahan terhadap noda dan minuman kopi [15].

Percobaan 2

Hasil pengujian pada percobaan dimana proses laminasi kertas dan pelapisan permukaan dilakukan serentak, terdapat pada Tabel 8. Kenaikan dosis iradiasi dari 20 menjadi 40 kGy meningkatkan kekerasan pendulum dari 40 menjadi 55 detik, sedangkan kilap hanya sedikit perubahannya. Sebagai gambaran, campuran resin poliester akrilat komersial Laromer PE 46 yang sudah dicampur monomer TPGDA dan diiradiasi sinar-UV dengan fotoinisiator yang berbeda menghasilkan kekerasan pendulum masing-masing 80 dan 40 detik, tidak tahan terhadap bahan kimia etil asetat dan butil asetat, dan tahan terhadap noda dan minuman kopi [15].

Seperti halnya pada percobaan 1, terdapat perbedaan nilai tegangan tarik yang cukup besar antara ulangan I dan II. Pola kerusakan umumnya terjadi pada kohesi kertasnya. Kenaikan dosis iradiasi terlihat meningkatkan tegangan tarik. Walaupun demikian nilai tegangan tarik masih cukup rendah yaitu maksimum hanya 4,9 kg/cm².

KESIMPULAN

Lapisan poliester tak jenuh dan uretan akrilat yang diiradiasi berkas elektron mempunyai sifat-sifat relatif lebih baik dibanding apabila diiradiasi sinar-UV. Kekerasan pendulum lapisan relatif rendah dan berkisar antara 26 dan 48 detik.

Pengukuran tegangan tarik pada pengujian adesi memberikan informasi bahwa pola kerusakan sebagian besar terjadi pada kertasnya. Nilai tegangan tarik maksimum relatif rendah, yaitu hanya 5,6 kg/cm².

Dalam aplikasi, proses laminasi dan pelapisan kertas yang dilakukan serentak (percobaan 2) akan lebih efisien dibanding apabila laminasi dan pelapisan dilakukan terpisah.

Dengan mempertimbangkan kondisi permukaan dan sifat lapisan, maka dosis optimum penggunaan resin poliester akrilat dan uretan akrilat adalah 80 kGy dengan konsentrasi *matting-agent* 5 %, sedangkan pada penggunaan resin poliester akrilat diperlukan dosis optimum 40 kGy.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada sdr. Sungkono dan

semua operator di Instalasi Fasilitas Iradiasi yang telah membantu pelaksanaan percobaan yang meliputi persiapan bahan, iradiasi, dan pengujian contoh.

PUSTAKA

1. GARNNET, J.L, "Applications of UV/EB processing in paper coating", Regional Executive Management Seminar on Industrial Radiation Curing Technology, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN (1990) belum diterbitkan.
2. FRENCH, D., "A 1.4 meter electron curing system for finishing of sheet woods products", (Special Report for UNDP on Ind. Appl. of Isotopes and Rad.Tech.) UNDP-IAEA, Vienna(1980) 397.
3. DANU, S., SUNDARDI, F., TRIMULYADI, G., KICKY, L.T.K., SUNARNI, A., and DARSONO, "Radiation curing of commercial acrylate and polyester based compounds for surface coating, First Indonesia - JICA Polymer Symposium CUM Workshop, 1990, RDCAP-LIPI, Bandung (1990) 160.
4. DANU, S., TRIMULYADI, G., SUNARNI, A., dan DARSONO, "Pelapisan permukaan lantai parket secara radiasi dengan bahan pelapis Laromer", Proses Radiasi dalam Industri, Sterilisasi Radiasi, dan Teknik Nuklir dalam Hidrologi (Risalah Pertemuan Ilmiah, 1988), PAIR-BATAN (1989) 243.
5. DANU, S., SUNDARDI, F., TRIMULYADI, G., SUNARNI, A., and MARSONGKO, M., "Radiation curing of surface coating of five commercial timbers", Second Indonesia - JICA Polymer Symposium Cum-Workshop, 1990, RDCAP-LIPI, Bandung (1990) 103.
6. ANONYMOUS, Annual Book of ASTM Standards, part 27 ASTM, Philadelphia (1982) 918.
7. ANONYMOUS, Paint and Varnishes, Pendulum Damping test [ISO 1522-1973(E)] (1985) 348.
8. ANONYMOUS, Paints and Varnishes, Pull-off test adhesion [ISO 4624-1978(E)] (1985) 513.
9. ANONYMOUS, Annual Book of ASTM Standards, part 27 ASTM, Philadelphia (1982) 188.
10. GARRAT, P.G., "The flattening of radiation curable paints based on unsaturated acrylic binders", Proceedings RadTech'90 -North America, Vol. I Chicago (1990) 268.
11. SICKFELD, J., "Pull-off test, an internationally standardized method for adhesion testing-assesment of the relevance of test result ", Adhesion Aspects of Polymeric Coatings,

- (MITTAL, K.L., ed) Plenum Press, New York and London (1983).
12. DANU, S., MARSONGKO, M., MONDJO., dan YULIANTO, T.P., "Adesi lapisan polimer hasil iradiasi berkas elektron pada permukaan kayu", Prosiding Simposium Fisika Jakarta '94 (1994) 95.
 13. Danu, S., Darsono, dan Sunarni, A., "Sifat lapisan poliester yang diiradiasi berkas elektron dan sinar ultra-violet pada permukaan kayu jati (*Tectona grandis* L.f) dan kayu kapur (*Dryobalanops. Spp*) ", Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengembangan Fisika Terapan dan Lingkungan 1995/1996, P3FT-LIPI, Bandung (1996) 429.
 14. ASKIENNAZY, A., and ZWANENBURG, R., "Adhesion optimization through oligomer/monomer selection", Proceedings Rad Tech '94-North America, Florida (1994) 211.
 15. ANONYMOUS, Laromer PE 55 F, BASF Technical Information, August (1984).

Tabell. Viskositas 25° C (cp) campuran resin poliester tak jenuh - TPGDA dan uretan akrilat - TPGDA dengan variasi konsentrasi silikon dioksida.

Campuran	Konsentrasi silikon dioksida, %		
	0	5	10
Poliester tak jenuh + TPGDA (50/50)	193	249	706
Uretan akrilat + TPGDA (50/50)	239	249	748

Tabel 2. Kilap 60° (%) lapisan campuran poliester tak jenuh - TPGDA dan uretan akrilat - TPGDA yang diiradiasi berkas elektron pada berbagai konsentrasi silikon dioksida.

Dosis, kGy	Konsentrasi silikon dioksida, %	Poliester tak jenuh + TPGDA (50/50)	Uretan akrilat + TPGDA (50/50)
60	0	84	59
	5	55	45
	10	41	37
80	0	89	53
	5	58	43
	10	44	35
100	0	87	55
	5	61	41
	10	45	34

Tabel 3. Kilap 60° (%) lapisan campuran poliester tak jenuh - TPGDA dan uretan akrilat - TPGDA yang diiradiasi sinar-UV pada berbagai konsentrasi silikon dioksida dan fotoinisiator.

Konsentrasi silikon dioksida, %	Konsentrasi fotoinisiator, %	Poliester tak jenuh + TPGDA (50/50)	Uretan akrilat + TPGDA (50/50)
0	1	75	36
	2	79	37
5	1	54	29
	2	55	30
10	1	33	14
	2	36	15

Tabel 4. Kekerasan pendulum (detik) campuran poliester tak jenuh - TPGDA dan uretan akrilat - TPGDA yang diiradiasi berkas elektron pada berbagai konsentrasi silikon dioksida.

Dosis, kGy	Konsentrasi silikon dioksida, %	Poliester tak jenuh + TPGDA (50/50)	Uretan akrilat + TPGDA (50/50)
60	0		
	5	37	31
	10	30 39	26 31
80	0		
	5	39	32
	10	41 40	30 34
100	0		
	5	48	37
	10	42 40	37 36

Tabel 5. Kekerasan pendulum (detik) campuran poliester tak jenuh - TPGDA dan uretan akrilat - TPGDA yang diiradiasi sinar-UV pada berbagai konsentrasi silikon dioksida dan fotoinisiator.

Konsentrasi silikon dioksida, %	Konsentrasi fotoinisiator, %	Poliester tak jenuh + TPGDA (50/50)	Uretan akrilat + TPGDA (50/50)
0	1	35	33
	2	36	28
5	1	35	32
	2	39	29
10	1	38	26
	2	38	33

Tabel 6. Tegangan tarik (kg/cm²) lapisan campuran poliester tak jenuh - TPGDA dan uretan akrilat - TPGDA yang diiradiasi berkas elektron pada berbagai konsentrasi silikon dioksida.

Dosis kGy	Konsentrasi silikon dioksida, %	Poliester tak jenuh + TPGDA (50/50)				Uretan akrilat + TPGDA (50/50)			
		I		II		I		II	
		A	B	A	B	A	B	A	B
60	0	1,4	0,7	4,2	3,5	4,2	5,6	0,7	1,4
	5	2,1	4,2	3,5	3,5	2,1	2,1	2,8	2,1
	10	0,7	1,4	2,1	2,5	4,2	4,2	2,8	2,1
80	0	1,4	2,1	0,7	2,8	2,1	4,9	4,9	4,9
	5	2,1	2,1	3,5	4,9	1,4	4,9	1,4	3,5
	10	2,8	2,1	1,4	2,1	1,4	1,3	3,5	2,1
100	0	4,9	3,5	4,2	2,3	3,5	3,5	4,9	4,9
	5	3,5	2,8	1,4	2,1	5,6	4,2	5,6	4,2
	10	4,9	5,6	2,8	2,8	4,2	1,4	0,7	1,4

I, II = ulangan percobaan
A, B = lokasi pengujian

Tabel 7. Tegangan tarik (kg/cm^2) lapisan campuran poliester tak jenuh - TPGDA dan uretan akrilat - TPGDA yang diiradiasi sinar-UV pada berbagai konsentrasi silikon dioksida dan fotoinisiator.

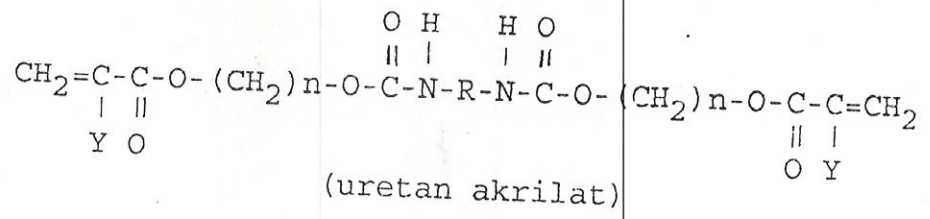
Konsentrasi silikon dioksida, %	Konsentrasi fotoinisiator, %	Poliester tak jenuh + TPGDA (50/50)				Uretan akrilat + TPGDA (50/50)			
		I		II		I		II	
		A	B	A	B	A	B	A	B
0	1	2,1	2,1	2,1	2,8	2,1	2,1	0,7	2,1
	2	2,1	3,5	2,8	3,5	0,7	1,4	1,4	3,5
5	1	2,1	2,1	0,7	2,8	3,5	2,8	0,7	1,4
	2	3,5	2,8	0,7	2,8	0,7	1,4	3,5	1,4
10	1	1,4	3,5	0,7	0,7	1,4	1,4	1,4	2,1
	2	0,7	1,4	1,4	2,1	1,4	0,7	4,2	2,1

I, II = ulangan percobaan
A, B = lokasi pengujian

Tabel 8. Kilap, kekerasan pendulum, dan adesi lapisan poliester akrilat - TPGDA (70/30).

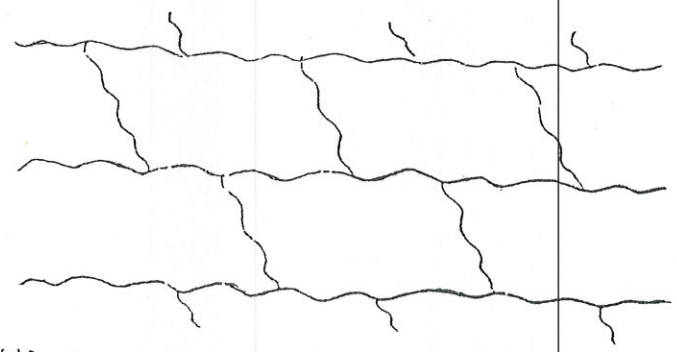
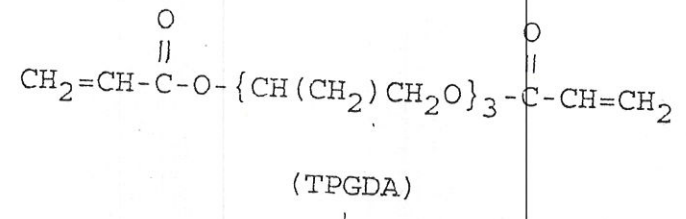
Dosis, kGy	Kilap (60°), %	Kekerasan, detik	Tegangan tarik, kg/cm^2	
			I	II
20	56	40		
30	57	49	1,4	2,1
40	60	55	1,4	4,2
			2,0	4,9

I, II = ulangan percobaan



Y = H atau CH₃
 R = OCN-R'-NCO

+



(ikatan silang uretan akrilat - TPGDA)

Gambar 1. Gambar skematis pembentukan struktur ikatan silang uretan akrilat - TPGDA.