

PAIR/P.948/97

**RADIASI BERKAS ELEKTRON UNTUK LAMINASI
KERTAS PADA PERMUKAAN PAPAN KAYU**

**Suglarto Danu, Darsono, Anik Sunarni, dan
Marsongko M.**

RADIASI BERKAS ELEKTRON UNTUK LAMINASI KERTAS PADA PERMUKAAN PAPAN KAYU*

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

ABSTRAK

RADIASI BERKAS ELEKTRON UNTUK LAMINASI KERTAS PADA PERMUKAAN PAPAN KAYU. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sifat lapisan hasil curing resin poliester akrilat yang diiradiasi berkas elektron untuk laminasi kertas pada permukaan kayu lapis dan papan partikel. Papan kayu dilapisi bahan pelapis dasar berupa campuran resin poliester akrilat, tripropilen glikol diakrilat (TPGDA), dan talk, dengan perbandingan berat 50 : 40 : 10, kemudian diiradiasi berkas elektron pada dosis 30 kGy. Lapisan yang dihasilkan selanjutnya dilapisi campuran poliester akrilat dan TPGDA dengan perbandingan 70 : 30, dilaminasi kertas, dilapisi lagi menggunakan campuran yang sama, kemudian diiradiasi pada variasi dosis 20, 30, dan 40 kGy. Proses pelapisan dilakukan menggunakan alat pelapis tipe rol, sedangkan iradiasi dilakukan dalam atmosfer nitrogen dengan konsentrasi $O_2 = 114$ ppm. Sifat lapisan yang diukur ialah viskositas, kekerasan pendulum, adesi, dan ketahanan terhadap bahan kimia, pelarut, dan noda. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa penambahan TPGDA sebanyak 10 % berat pada campuran dengan resin poliester akrilat menghasilkan lapisan yang cukup rata.

*Dibawakan pada "Pertemuan Ilmiah Sains Materi II", Pusat Penelitian Sains Materi, BATAN, Serpong, 29 - 30 Oktober 1997

**Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN, Jakarta

Kekerasan pendulum lapisan berkisar antara 41 dan 59 detik. Tegangan tarik pada laminasi kayu lapis lebih tinggi dibanding laminasi papan partikel. Lapisan hasil iradiasi pada dosis 40 kGy mempunyai ketahanan yang baik terhadap bahan kimia untuk keperluan sehari-hari, pelarut, dan noda.

ABSTRACT

ELECTRON BEAM RADIATION FOR LAMINATION OF PAPER ON WOOD PANEL SURFACE. This study was done to determine the film properties of electron beam cured polyester acrylate resin for lamination of paper on plywood and particle board. Wood panel was coated using base coat i.e., the mixture of polyester acrylate resin, tripropylene glycol diacrylate (TPGDA), and talcum with the weight ratio of 50 : 40 : 10, and then irradiated using electron beam at the dose of 30 kGy. The films produced were then coated with the mixture of polyester acrylate and TPGDA with the ratio of 70 : 30, laminated with paper, another coat of same composition applied, and irradiated at variation dosages of 20, 30, and 40 kGy. Coating process was conducted using roll coater, whereas irradiation was done in a nitrogen atmosphere with oxygen concentration of 114 ppm. Coating materials and film properties observed were viscosity, pendulum hardness, adhesion, and chemicals, solvent, and stain resistances. The results indicated that addition of 10 % by weight of TPGDA produced an even surfaces. Pendulum hardness of films were between 41 and 59 seconds. Tensile stress in the lamination of plywood resulted higher adhesion as compared to the lamination of particle

board. Films irradiated at the dose of 40 kGy have good chemicals, solvent, and stain resistances.

PENDAHULUAN

Teknik radiasi telah dipakai secara komersial untuk pelapisan permukaan kertas menggunakan radiasi ultra violet dan berkas elektron. Beberapa produk pelapisan yang menggunakan kertas ialah : kayu lapis yang dilaminasi kertas dekorasi (*paper laminated plywood*), kertas pembungkus, tas belanja, label, dll [1]. Laminasi kertas pada permukaan papan kayu bertujuan untuk menghasilkan produk papan kayu yang mempunyai penampilan atau dekorasi yang menarik. Selain mempunyai penampilan yang menarik, papan kayu dilindungi dari pengaruh luar yang bersifat merusak.

Pengeringan (*curing*) dengan teknik radiasi mempunyai beberapa keunggulan dibanding cara konvensional, antara lain : tidak memerlukan katalisator dan pelarut, tidak memerlukan ruangan yang besar, serta proses berlangsung sangat cepat. Proses pengeringan pada laminasi kertas dan pelapisan permukaan dapat dilakukan dalam waktu yang bersamaan menggunakan radiasi berkas elektron.

Penelitian laminasi kertas dengan radiasi berkas elektron dan UV pada permukaan papan kayu telah dilakukan menggunakan resin poliester tak jenuh dan resin uretan akrilat [2]. Disimpulkan bahwa lapisan poliester tak jenuh dan uretan akrilat yang diiradiasi berkas elektron menghasilkan sifat-sifat relatif lebih baik dibanding apabila diiradiasi sinar UV. Salah satu perusahaan yang telah melakukan proses laminasi kertas pada permukaan

papan partikel secara komersial menggunakan radiasi berkas elektron adalah Universal Woods di Amerika [3].

Tujuan penelitian ini ialah untuk mengetahui sifat lapisan hasil iradiasi berkas elektron pada laminasi kertas menggunakan bahan pelapis poliester akrilat pada permukaan kayu lapis dan papan partikel. Sifat bahan pelapis yang diukur ialah viskositas, sedangkan sifat lapisan yang diukur meliputi kekerasan pendulum, adesi, dan ketahanan terhadap bahan kimia, pelarut dan noda.

TEORI

Jika suatu campuran prapolimer/oligomer (mempunyai gugus ikatan rangkap) dan monomer reaktif (mempunyai gugus ikatan rangkap) diiradiasi berkas elektron, maka akan terjadi reaksi polimerisasi membentuk jaringan ikatan silang. Pembentukan jaringan ikatan silang melalui reaksi polimerisasi radikal, berlangsung dalam tiga tahap reaksi, yaitu reaksi inisiasi (pembentukan radikal), propagasi (perambatan), dan terminasi (penghentian). Perubahan molekul-molekul yang relatif kecil menjadi molekul-molekul besar karena adanya pembentukan jaringan ikatan silang menyebabkan perubahan fase dari cair menjadi padat (proses curing). Curing dipakai untuk proses pelapisan suatu bahan yang bertujuan selain untuk melindungi permukaan bahan dari pengaruh luar yang bersifat merusak, juga untuk meningkatkan penampilan bahan tersebut. Energi berkas elektron untuk pelapisan permukaan berkisar antara 100 dan 350 kV.

Suatu papan kayu yang tidak mempunyai penampilan permukaan yang menarik, misalnya kayu lapis dan papan partikel dapat ditingkatkan mutunya, dengan melakukan laminasi menggunakan kertas dekorasi, diikuti dengan pelapisan permukaan. Campuran prapolimer poliester akrilat dan monomer reaktif difungsional TPGDA merupakan salah satu bahan pelapis yang dapat dipakai untuk laminasi kertas pada permukaan papan kayu. Dengan menggunakan komposisi tertentu, bahan pelapis tersebut setelah diiradiasi diharapkan dapat berfungsi untuk menutup pori-pori kayu, merekat kertas dengan permukaan kayu, dan melapisi permukaan kertas sendiri. Proses iradiasi pada curing untuk laminasi kertas berlangsung dua tahap. Tahap pertama ialah iradiasi untuk curing lapisan dasar, dan tahap kedua ialah iradiasi untuk curing lapisan perekat dan lapisan atas secara serentak. Lapisan pada produk laminasi kayu, terdiri dari berturut-turut : papan kayu, lapisan dasar, lapisan perekat, kertas, dan lapisan atas.

Untuk mendapatkan suatu lapisan yang dapat berfungsi untuk menutup pori-pori, sebagai perekat, dan sebagai lapisan pelindung, diperlukan komposisi bahan pelapis yang berbeda, serta dengan mengatur dosis yang diterima.

METODE

Bahan. Kayu lapis tebal 4 mm dan papan partikel tebal 10 mm dibeli di pasaran. Kertas bermotif serat kayu dengan ketebalan 22 g/m² diperoleh dari PT. Perfekta Nusa, Jakarta. Resin poliester akrilat dengan nama komersial Laromer PE 46 dan monomer tripropilen glikol diakrilat dibeli dari BASF, Jerman. Talk sebagai campuran lapisan dasar,

buatan Merek. Semua bahan kimia yang dipakai dalam penelitian tanpa diproses lebih lanjut. Struktur kimia prapolimer poliester tak jenuh dan TPGDA terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Struktur kimia prapolimer poliester akrilat dan TPGDA

Nama kimia	Struktur kimia
Poliester akrilat	$\text{CH}_2=\text{CH}-\overset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\text{O}-\boxed{\text{Poliester}}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\text{CH}=\text{CH}_2$
Tripropilen glikol diakrilat (TPGDA)	$\text{CH}_2=\text{CH}-\overset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\text{O}-\{\text{CH}(\text{CH}_2)\text{CH}_2\text{O}\}_3-\text{C}-\overset{\text{O}}{\underset{ }{\text{C}}}-\text{CH}=\text{CH}_2$

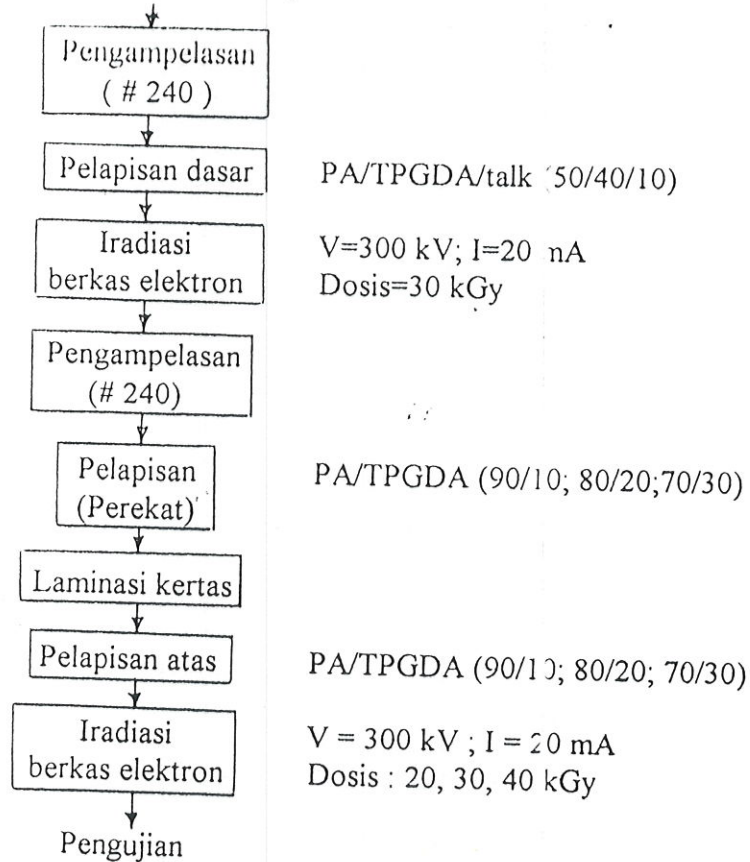
Alat. Alat pelapis tipe rol dipakai untuk laminasi kertas dan pelapisan permukaan. Iradiasi dilakukan menggunakan mesin berkas elektron tipe *scanning* buatan Nissin High Voltage Co, Ltd., Jepang. Sumber radiasi ini mempunyai tegangan operasi (V) 300 kV dan arus (I) 50 mA.

Percobaan. Kayu lapis (ukuran : 400 mm x 200 mm x 4 mm) dan papan partikel (ukuran : 400 mm x 200 mm x 10 mm) diampelas menggunakan kertas ampelas No. 240. Kayu yang sudah diampelas dilapisi bahan pelapis dasar (3 kali pelapisan), kemudian diiradiasi berkas elektron pada tegangan 300 kV dan arus 20 mA, dengan dosis 30 kGy. Iradiasi dilakukan dalam atmosfer nitrogen dengan kandungan oksigen sebesar 114 ppm. Lapisan yang sudah kering setelah diiradiasi, diampelas lagi, dilapisi bahan pelapis atas

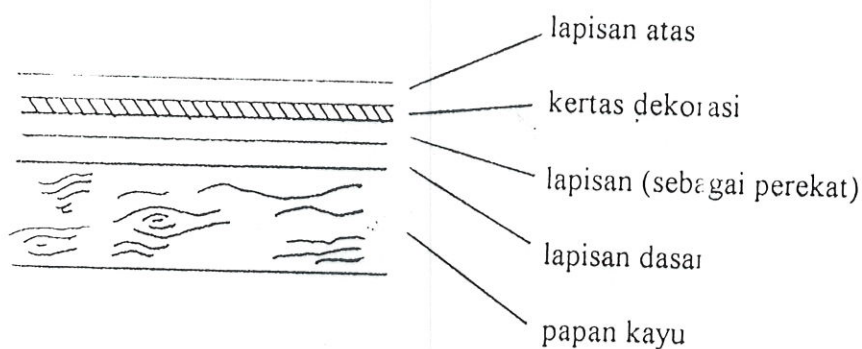
(3 kali pelapisan), dilaminasi kertas dekorasi, dilapisi bahan pelapis atas (2 kali pelapisan), dan selanjutnya diiradiasi berkas elektron pada variasi dosis 20, 30, dan 40 kGy. Bahan pelapis dasar terdiri dari campuran resin poliester akrilat (PA), TPGDA, dan talk dengan perbandingan berat 50 : 40 : 10, sedangkan bahan pelapis atas terdiri dari campuran PA dan TPGDA dengan perbandingan 70 : 30. Komposisi bahan pelapis dasar maupun bahan pelapis atas diperoleh dari optimasi percobaan pelapisan beberapa macam kayu menggunakan resin poliester akrilat [4]. Bahan pelapis atas dipakai untuk merekat kertas pada permukaan kayu, dan melapisi permukaan kertas. Baik proses pelapisan, maupun laminasi dilakukan menggunakan alat pelapis tipe rol. Tebal rata-rata lapisan dasar, lapisan untuk laminasi, maupun untuk pelapisan atas berkisar antara 20 dan 27 g/m². Percobaan dapat digambarkan dengan skema seperti terlihat pada Gambar 1, sedangkan penampang lintang papan kayu yang sudah dilaminasi kertas terlihat pada Gambar 2.

Pengukuran kekerasan pendulum lapisan ditentukan menggunakan Pendulum Hardness Rocker dengan metode Koenig menurut ISO 1522-1973 (E) [5]. Adesi lapisan ditentukan menggunakan Tensile Tester dengan metode uji tarik sesuai ISO 4624-1978 (E) [6]. Ketahanan terhadap bahan kimia untuk keperluan sehari-hari, pelarut, dan noda, ditentukan dengan uji tetes menurut ASTM D 1308-79 (1982) [7].

Kayu lapis / papan partikel
(400 mm x 200 mm)



Gambar 1 Bagan proses laminasi kertas pada papan kayu, dengan curing menggunakan radiasi berkas elektron.



Gambar 2. Penampang lintang papan kayu yang sudah dilaminasi kertas (*paper laminated plywood*)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Resin poliester akrilat Laromer PE 46 sudah mengandung monomer TPGDA sebanyak 20 % berat. Viskositas resin tersebut masih sangat tinggi, yaitu 7000 cp. Untuk memudahkan pelapisan dan agar dapat menghasilkan permukaan yang rata, maka masih diperlukan penambahan pengencer (diluen), yang dalam penelitian ini dipakai monomer TPGDA. Dalam uraian selanjutnya, pengertian konsentrasi TPGDA dengan resin poliester akrilat, dihitung dari jumlah TPGDA yang ditambahkan. Viskositas campuran resin poliester akrilat dan TPGDA terdapat pada Tabel 2. Penambahan TPGDA sebanyak 10 % menurunkan viskositas campuran dengan drastis, yaitu dari 7000 cp menjadi 675 cp. Pada konsentrasi ini, lapisan yang dihasilkan sudah cukup rata.

Tabel 2. Viskositas campuran resin poliester akrilat dan TPGDA

Konsentrasi TPGDA, %	Viskositas (25 ^o C), cp
0	7000
10	675
20	358
30	270
40	184

Kekerasan pendulum lapisan sebagai fungsi konsentrasi TPGDA tertera pada Tabel 3. Semakin tinggi konsentrasi TPGDA semakin rendah viskositas campuran, dan akibatnya menurunkan pembentukan gel. Terminasi pembentukan kopolimer poliester

akrilat TPGDA lebih cepat terjadi, karena reaksi didominasi oleh pembentukan homopolimer dari TPGDA. Pembentukan homopolimer ini mudah terjadi karena TPGDA mempunyai 2 gugus fungsional berupa ikatan rangkap setiap molekulnya (monomer difungsional). Walaupun kenaikan konsentrasi TPGDA menurunkan kekerasan lapisan seperti terlihat pada Tabel 3, tetapi penurunan ini tidak begitu besar. Hasil percobaan ini sesuai dengan hasil yang diperoleh pada percobaan *curing* campuran poliester tak jenuh - stiren yang dilakukan oleh PIETSCH [8] dan HOFFMAN [9]. Disimpulkan bahwa

Tabel 3. Kekerasan pendulum (detik) sistem laminasi kertas pada permukaan kayu menggunakan campuran poliester akrilat dan TPGDA yang diiradiasi berkas elektron.

Konsentrasi TPGDA, %	Dosis, kGy	Jenis kayu	
		Kayu lapis	Papan partikel
10	20	49	50
	30	53	52
	40	59	59
20	20	48	42
	30	51	50
	40	55	57
30	20	40	41
	30	49	50
	40	55	55
30	20	40	42
	30	45	45
	40	54	52

pembentukan homopolimer dari stiren jika konsentrasi stiren terlalu tinggi ($> 30 \%$) menyebabkan penurunan kekerasan lapisan cukup tinggi. Pembentukan homopolimer stiren memerlukan dosis cukup tinggi karena stiren mempunyai gugus aromatik dan merupakan monomer monofungsional (mempunyai 1 ikatan rangkap setiap molekulnya). Kenaikan dosis iradiasi menyebabkan kenaikan jumlah reaksi terminasi antara ikatan rangkap pada rantai utama dengan sisa rantai monomer yang masih aktif. Reaksi ini menghasilkan kenaikan jumlah ikatan silang dan selanjutnya meningkatkan kekerasan lapisan [10]. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kekerasan pendulum lapisan tidak begitu tinggi, yaitu berkisar antara 40 dan 59 detik. Rendahnya kekerasan lapisan ini dipengaruhi oleh kekerasan substrat dari lapisan, yaitu kertas dekorasi, dan tebal lapisan sendiri. Tebal lapisan berkisar antara 20 dan 27 μm . Menurut SENG [11], kekerasan pendulum akan dipengaruhi oleh kekerasan substrat jika tebal lapisan kurang dari 30 μm . Hasil pengukuran menunjukkan bahwa kekerasan tidak dipengaruhi oleh jenis kayu. Tidak terdapat perbedaan yang berarti antara kekerasan lapisan pada penggunaan kayu lapis dan papan partikel sebagai substrat.

Adesi merupakan faktor yang sangat penting dalam menentukan kualitas suatu lapisan yang berfungsi untuk proteksi. Adesi lapisan ditentukan dengan pengukuran tegangan tarik, dan datanya terdapat pada Tabel 4. Semakin tinggi dosis, semakin banyak jumlah ikatan silang yang terbentuk, dan semakin kuat adhesinya. Semakin tinggi konsentrasi TPGDA dalam campuran, semakin rendah adesi lapisan. Hal ini berkaitan dengan rendahnya pembentukan kopolimer ikatan silang antara poliester akrilat dengan

TPGDA. Pada penggunaan kayu lapis dengan penambahan TPGDA 30 dan 40 %, tegangan tarik berkisar antara 1,5 dan 3,4 kg/cm². Lapisan yang berfungsi sebagai perekat (lapisan perekat) antara lapisan dasar dengan kertas menerima dosis relatif lebih rendah dibandingkan lapisan permukaan. Akibatnya, kopolimer maupun homopolimer yang terjadi belum sempurna. Hal ini dapat diketahui dari pola kerusakan yang terjadi pada pengukuran tegangan tarik. Pada konsentrasi TPGDA 30 dan 40 %, bidang terlepasnya lapisan terjadi antara lapisan perekat dengan kertas, sedangkan pada konsentrasi TPGDA 10 dan 20 % terlepas pada kertasnya. Tegangan tarik pada penggunaan papan partikel lebih rendah dibanding penggunaan kayu lapis. Pada proses pelapisan bahan pelapis yang berfungsi sebagai perekat (3 kali pelapisan) dengan konsentrasi TPGDA 30 dan 40 %, penyerapan

Tabel 4. Tegangan tarik (kg/cm²) sistem laminasi kertas menggunakan campuran poliester akrilat dan TPGDA yang diiradiasi berkas elektron.

Konsentrasi TPGDA, %	Dosis, kGy	Jenis kayu	
		Kayu lapis	Papan partikel
10	20	4,3	4,2
	30	8,9	4,9
	40	9,8	5,2
20	20	2,4	2,3
	30	5,4	3,5
	40	7,9	3,5
30	20	1,7	..
	30	2,8	..
	40	3,4	..
40	20	1,5	..
	30	1,5	..
	40	2,4	..

bahan ke dalam pori-pori papan partikel masih berlangsung. Hal ini disebabkan viskositas campuran sangat rendah, yaitu masing-masing 270 dan 184 cp, sedangkan pori-pori papan partikel lebih banyak dibanding kayu lapis. Akibatnya, sebagian besar lapisan ini terserap papan partikel, sehingga tidak dapat berfungsi sebagai perekat. Pada kondisi ini, tegangan tariknya tidak terukur (mendekati nol), dan terlepas antara lapisan dasar dan kertas.

Tabel 5. Ketahanan lapisan terhadap beberapa bahan kimia, pelarut, dan noda (spidol permanen warna merah, biru, dan hitam).

Konsentrasi TPGDA, %	Dosis, kGy	Bahan kimia						Spidol		
		A	B	C	D	E	F	M	B	H
10	20	++	++	+	-	-	-	-	-	-
	30	++	++	+	-	-	-	-	-	-
	40	+	-	-	-	-	-	-	-	-
20	20	++	++	++	-	-	-	-	-	-
	30	++	++	+	-	-	-	-	-	-
	40	+	-	-	-	-	-	-	-	-
30	20	++	++	++	-	-	-	-	-	-
	30	++	++	++	-	-	-	-	-	-
	40	+	+	-	-	-	-	-	-	-
40	20	++	++	++	-	-	-	-	-	-
	30	++	++	+	-	-	-	-	-	-
	40	+	+	-	-	-	-	-	-	-

Keterangan :

A = NaOH 10 %

B = Na₂CO₃ 1 %

C = H₂SO₄ 10 %

D = asam asetat 5 %

E = alkohol 50 %

M = spidol permanen warna merah

B = spidol permanen warna biru

H = spidol permanen warna hitam

- = tanpa perubahan

+ = terjadi perubahan sedikit

++ = terjadi perubahan nyata

Pengukuran ketahanan lapisan terhadap bahan kimia untuk keperluan sehari-hari, pelarut, dan noda, terdapat pada Tabel 5. Hampir semua lapisan dengan konsentrasi TPGDA 10 dan 20 % yang diiradiasi pada dosis 40 kGy tahan terhadap bahan kimia penguji, yaitu : NaOH 10 %, Na_2CO_3 1 %, H_2SO_4 10 %, asam asetat 5 %, alkohol 50 %, spidol permanen warna merah, biru, dan hitam. Lapisan dengan konsentrasi TPGDA 30 dan 40 % yang diiradiasi pada dosis 20 dan 30 kGy, tidak tahan terhadap NaOH 10 %.

Dari data yang diperoleh menunjukkan bahwa lapisan mempunyai sifat terbaik pada komposisi campuran resin poliester akrilat dan TPGDA dengan perbandingan 90 : 10, dan diiradiasi pada dosis 40 kGy.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Konsentrasi 10 % TPGDA dalam campuran dengan resin poliester akrilat (Laromer PE 46) menghasilkan lapisan yang rata. Semakin tinggi konsentrasi TPGDA semakin rendah kekerasan dan adesi lapisan. Bidang terlepasnya lapisan pada konsentrasi TPGDA 30 dan 40 %, terjadi antara lapisan yang berfungsi sebagai perekat, dengan kertas. Adesi pada lapisan menggunakan kayu lapis lebih tinggi dibanding papan partikel. Penutupan pori-pori kayu dengan lapisan dasar penting untuk mendapatkan adesi yang baik.
2. Pada umumnya, lapisan yang diiradiasi pada dosis 40 kGy tahan terhadap bahan kimia, pelarut, dan noda, tetapi tidak begitu tahan terhadap NaOH 10 %.

3. Kondisi optimum dicapai pada campuran resin poliester akrilat dan TPGDA dengan perbandingan berat 90 : 10, dan dosis iradiasi 40 kGy.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Perfekta Nusa, Jakarta, yang telah memberi kertas dekorasi untuk penelitian, para operator di Fasilitas Mesin Berkas Elektron yang telah melakukan pekerjaan iradiasi contoh uji, dan kepada Sdr. Sungkono dari Bidang Proses Radiasi yang telah melakukan pengujian cor toh uji.

PUSTAKA

1. GARNETT, J. L., "Application 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. DANU, S., DARSONO., dan SUNARNI, A., "Laminasi kertas pada permukaan papan kayu dengan teknik radiasi", Prosiding Seminar Teknik Kimia Soehadi Reksowardjo 1996 : Teknologi Polimer dan Membran, Institut Teknologi Bandung, Bandung (1996) XXVIII - 1.
3. 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.
4. 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.
5. ANONYMOUS, Paints and Varnishes, Pendulum damping test [ISO 1522 - 1973 (E)] (1985) 348.
6. ANONYMOUS, Paints and Varnishes , Pull-off test for adhesion [ISO 4624 - 1978 (E)] (1985) 513.

7. ANONYMOUS, Annual Book of ASTM Standards, part 27 ASTM, Philadelphia (1982) 188.
8. PIETSCH, G. J., Effect of composition in radiation curing of unsaturated polyester coatings, Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev., 9 2 (1970) 149.
9. HOFFMAN, A. S., JAMESON, J. T., SALMON, W. A., SMITH, D. E., and TRAGESER, D., Electron radiation curing of styrene - polyester mixtures, Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev., 9 2 (1970) 158.
10. CHARLESBY, A., Atomic Radiation and Polymers, Vol. I, Pergamon Press, London - Oxford - New York - Paris (1960).
11. SENG, H. P., Test Methods for the Characterisation of JV - and EB cured printing varnishes, Part 1, Betagamma 3 (1989) 10.