

PELAPISAN PERMUKAAN KERAMIK DENGAN POLIMER EPOKSI AKRILAT MENGGUNAKAN IRADIASI UV

Marsongko

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi (PATIR) - BATAN
Jl. Cinere Pasar Jumat, Jakarta

ABSTRAK

PELAPISAN PERMUKAAN KERAMIK DENGAN POLIMER EPOKSI AKRILAT MENGGUNAKAN IRADIASI UV. Penelitian pelapisan permukaan polimer epoksi akrilat pada keramik telah dilakukan dengan pengeringan menggunakan radiasi ultra-violet (UV). Bahan pelapis radiasi adalah resin epoksi akrilat dengan nama komersial Laromer EA 81 (oligomer epoksi akrilat dalam 20 %berat monomer heksandiol diakrilat) setelah dicampur dengan monomer tripropilen glikol diakrilat (TPGDA) dan fotoinisiator 2,2 dimetil-2-hidroksil asetofenon (Darocur 1173). Konsentrasi TPGDA dalam campuran divariasi menjadi 0 %berat; 5 %berat; 10 %berat; 15 %berat dan 20 %berat, sedangkan konsentrasi fotoinisiator 1 %berat campuran resin epoksi akrilat dan TPGDA. Iradiasi dilakukan menggunakan sumber radiasi UV dengan intensitas 80 watt/cm pada kecepatan konveyor 2 m/menit; 4 m/menit dan 5 m/menit. Parameter yang diamati meliputi kekerasan, adesi, ketahanan kikis, dan ketahanan terhadap bahan kimia, pelarut dan noda. Hasil pengukuran sifat-sifat lapisan menunjukkan bahwa lapisan hasil iradiasi mempunyai kekerasan pensil yang sama yaitu, 2H, kekerasan pendulum 193 detik hingga 206 detik, dan ketahanan kikis 10,5 % hingga 26,3 %. Pada umumnya pengukuran adesi menggunakan uji tarik memberikan informasi bahwa adesi antara lapisan dan permukaan keramik lebih kuat dibanding kohesi bahan keramik sendiri, dan nilai tegangan tarik adalah 6,8 kg/cm² sampai dengan 35,1 kg/cm². Semua lapisan mempunyai ketahanan yang baik terhadap bahan kimia, pelarut dan noda kecuali terhadap natrium karbonat 1 %.

Kata kunci : Pelapisan permukaan, Keramik, Epoksi akrilat, UV

ABSTRACT

SURFACE COATING OF EPOXY ACRYLATE POLYMER ON CERAMIC USING UV IRRADIATION. Surface coating experiment of epoxy acrylate polymer on ceramics has been done using UV irradiation curing. Radiation curable material is an epoxy acrylate resin with the commercial name of Laromer EA 81 (epoxy acrylate oligomer in 20 wt % hexandiol diacrylate monomer) after being mixed with tripropylene glycol diacrylate (TPGDA) monomer and photoinisiator of 2,2 dimethyl- 2- hydroxyl acetophenon (Darocur 1173). Concentrations of TPGDA in the mixture were varied, i.e., 0; 5; 10; 15 and 20 % by weight, whereas photoinisiator concentration was 1 % by weight of epoxy acrylate resin and TPGDA mixture. Irradiation was conducted using 80 watt/cm intensity UV source at conveyor speed of 2; 4 and 5 m/min. Parameter observed were hardness, adhesion, abrasion resistance, and chemical, solven and stain resistance. Results of the characterization showed that epoxy acrylate cured films have similar pencil hardness, i.e., 2H, pendulum hardness of 193 ~ 206 sec and abrasion resistance of 10.5 ~ 26.3 %. In general, adhesion measurement using *pull-off test* gave information that the adhesion between film and ceramic surface was stronger than that of cohesion in the ceramic material itself, and the value of tensile stress were 6.8 ~ 35.1 kg/cm². All films have good resistance to chemical, solvent and stain except for sodium carbonate 1 %.

Key words : Surface coating, Ceramic, Epoxy acrylate, UV

PENDAHULUAN

Keramik sebagai bahan bangunan telah menjadi pilihan yang terus digemari masyarakat sampai saat ini, terutama untuk lantai dan dinding karena bahan keramik cukup kuat, perawatannya mudah dan murah. Pelapisan pada keramik secara konvensional disebut proses glasir. Bahan pelapis yang dipakai untuk proses glasir dalam industri terdiri dari 4 komponen sampai dengan

8 komponen. Empat komponen terpenting tersebut adalah batu kapur, kalium karbonat, soda dan silika [1]. Proses ini memerlukan pemanasan pada suhu tinggi (1230 °C) dan waktu yang cukup lama.

Pelapisan permukaan dengan teknologi radiasi tidak memerlukan pelarut, panas, dan katalisator seperti yang biasa dilakukan pada proses secara konvensional.

Teknologi radiasi telah banyak digunakan untuk proses pelapisan permukaan kayu, logam, kertas dan plastik.

Taisei Corporation dan Kansai Paint Co., Ltd., di Jepang telah mengembangkan proses pelapisan permukaan gypsum dan marmer alam untuk bahan bangunan dengan teknik radiasi menggunakan mesin berkas elektron. Film yang dihasilkan mempunyai sifat-sifat yang lebih baik, misalnya tekstur maupun kekerasannya dibanding dengan cara konvensional [2].

Nakasato Ind., Jepang sejak tahun 1979 telah menggunakan radiasi berkas elektron untuk pelapisan permukaan genting [3]. Pelapisan ubin teraso juga telah dilakukan di PATIR, Batan, dengan menggunakan radiasi berkas elektron dan sinar UV. Lapisan film yang dihasilkan keras, mempunyai ketahanan terhadap kikisan, ketahanan terhadap bahan kimia, pelarut dan noda yang cukup baik [4]. Pelapisan berwarna pada keramik dengan radiasi berkas elektron menggunakan bahan pelapis epoksi akrilat dan uretan akrilat yang dicampur dengan tripropilen glikol diakrilat menghasilkan lapisan film epoksi akrilat yang mempunyai sifat-sifatnya lebih baik dibanding dengan uretan akrilat [5].

Radiasi berkas elektron dan UV dapat dipakai untuk pelapisan bahan berpori misalnya, cetakan dari semen dengan menggunakan resin akrilat agar permukaan mempunyai sifat keras, tahan kikisan dan mempunyai friksi rendah [6]. Selain untuk pelapisan bahan, radiasi UV juga dapat dipakai untuk pembuatan komposit. Pengeringan formulasi campuran senyawa akrilat dan partikel silika berukuran nano, setelah diiradiasi sinar UV atau berkas elektron menghasilkan komposit akrilat-silika yang dapat dipakai sebagai bahan pelapis kertas, logam dan kayu olahan (*engineered wood*) [7]. Proses pengeringan pada pembuatan cetakan berupa komposit campuran oligomer akrilat, fotoinisiator dan butiran poliamida berukuran sangat halus, dapat berlangsung sangat cepat dengan menggunakan radiasi UV [8].

Komponen utama bahan pelapis radiasi terdiri dari prapolimer/oligomer dan monomer reaktif. Sebagian besar bahan pelapis radiasi merupakan prapolimer akrilat dan monomer akrilat, karena reaktivitasnya yang tinggi terhadap radiasi [9]. Bahan pelapis radiasi yang ada di pasaran sebanyak 95 % merupakan senyawa akrilat, dan proses polimerisasi berlangsung melalui reaksi polimerisasi radikal [10]. Reaksi polimerisasi radikal menghasilkan polimer ikatan silang melalui tiga tahap reaksi, yaitu reaksi inisiasi (pembentukan radikal), propagasi (perambatan), dan terminasi (penghentian). Polimer ikatan silang dalam bentuk lapisan tipis ini dipakai untuk melindungi permukaan bahan dari pengaruh luar yang bersifat merusak, serta memperbaiki penampilannya.

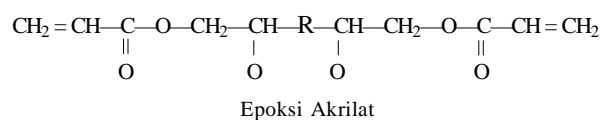
Dalam penelitian ini dilakukan proses pelapisan campuran resin epoksi akrilat dan TPGDA pada permukaan keramik yang diiradiasi dengan sinar UV. Kecepatan conveyor divariasikan yaitu, 2 m/menit,

4 m/menit dan 5 m/menit. Parameter yang diukur meliputi viskositas, kekerasan, ketahanan kikis, adesi, serta ketahanan terhadap bahan kimia, pelarut dan noda.

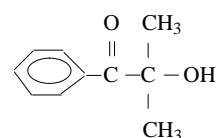
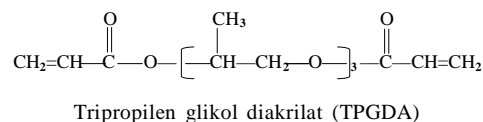
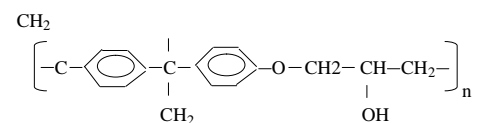
METODE PERCOBAAN

Bahan

Substrat yang dipakai adalah keramik yang belum dilapisi, berukuran 20 cm x 10 cm x 0,8 cm. Laromer EA-81 merupakan campuran oligomer epoksi akrilat dalam 20% hexandiol diakrilat (HDDA) dan monomer tripropilen glikol diakrilat (TPGDA) dibeli dari BASF, Jerman. *Silicone oil* sebagai *wetting agent*, yaitu aditif yang berfungsi agar permukaan lapisan menjadi rata. Fotoinisiator 2,2 dimetil -2-hidroksil asetofenon dengan nama komersial Darocur 1173 buatan Merck, Jerman. Struktur molekul epoksi akrilat, TPGDA dan Darocur 1173 terdapat pada Gambar 1.



dimana R adalah,



2,2 Dimethyl-2- hydroxyl acetophenone
(Darocur 1173)

Gambar 1. Struktur molekul epoksi akrilat,

Alat

Sumber radiasi UV terdiri dari 1 lampu dengan daya 80 watt/cm buatan 1ST Strahlentechnik GMBH, Jerman, dilengkapi dengan sistem conveyor. Kilap diukur menggunakan Gloss Meter U, Toyoseiki Seisakusho, Co., Jepang. Kekerasan lapisan diukur dengan pensil standar Uni Mitsubishi buatan Jepang, dan Pendulum Hardness dari Sheen Instrument Ltd. Inggris.

Cara Kerja

Permukaan keramik dibersihkan menggunakan air, kemudian dibiarkan sehingga kering udara. Resin epoksi

akrilat diencerkan dengan monomer TPGDA, sehingga konsentrasi TPGDA dalam campuran dengan resin epoksi akrilat masing-masing adalah 0% berat; 5% berat; 10% berat; 15% berat; dan 20% berat. Campuran selanjutnya ditambah *silicone oil* dan fotoinisiator darocur 1173 masing-masing sebanyak 1% dari berat campuran. Kekentalan campuran diukur menggunakan viskometer *visconic EMD type*. Campuran dituangkan pada permukaan keramik yang sudah dibersihkan, kemudian diratakan dengan batang silinder kaca untuk mendapatkan tebal lapisan ± 100 µm. Lapisan kemudian diiradiasi menggunakan sinar UV pada kecepatan konveyor 2 m/menit; 4 m/menit dan 5 m/menit.

Kekerasan pensil lapisan diukur menggunakan pensil standar sesuai dengan JIS K 5400-1970 [11]. Pengukuran kekerasan pendulum dilakukan dengan metode Koenig sesuai ISO 1522-1973 (E) [12]. Adesi lapisan diukur menggunakan metode uji tarik sesuai dengan ISO 4624-1978 (E) [13].

Ketahanan kikis diukur menggunakan metode pasir jatuhnya (*Falling sand abrasion test*) sesuai dengan ASTM D 968-81 [14]. Pengujian dengan metode pasir jatuhnya dilakukan dengan menjatuhkan pasir standar (pasir silika) berukuran 80 mesh dari ketinggian tertentu melalui corong pada permukaan contoh uji sehingga menghasilkan kikisan berbentuk elips. Diameter pipa 0,75 inch (± 19 mm). Perhitungan dilakukan dengan rumus :

$$\text{Ketahanan kikis (\%)} = \frac{D - L}{D} \times 100\%$$

dengan notasi,

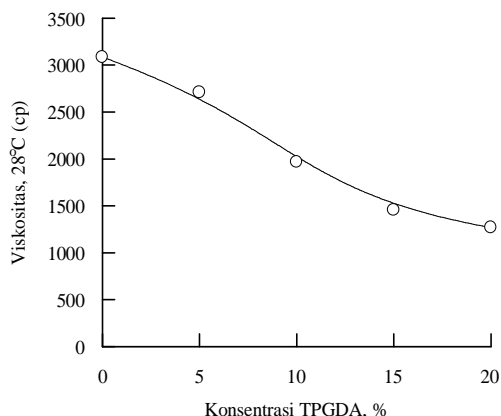
D = diameter dalam pipa, mm

L = panjang sumbu pendek kikisan bentuk elip, mm

Kilap dan ketahanan terhadap bahan kimia, pelarut dan noda ditentukan dengan uji tetes (*spot test*) sesuai dengan ASTM 1308-79 [15,16] Bahan kimia pengujian yang dipakai ialah NaOH 10%, Na₂CO₃ 1%, H₂SO₄ 10%, asam asetat 10%, alkohol 50%, pengencer (*thinner*), dan spidol permanen warna merah, biru dan hitam.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Viskositas campuran resin epoksi akrilat dan TPGDA dapat dilihat pada Gambar 1. Dengan penambahan TPGDA sebanyak 0% berat; 5% berat; 10% berat; 15% berat dan 20% berat dalam campuran bahan pelapis resin epoksi akrilat EA-81 didapatkan bahan pelapis dengan viskositas 3085 cp; 2710 cp; 1967 cp; 1455 cp dan 1269 cp. Semakin tinggi konsentrasi TPGDA dalam campuran, semakin rendah viskositas bahan pelapis. Pengaturan viskositas bahan pelapis sangat penting karena selain untuk menentukan pemilihan alat pelapis yang sesuai, komposisi campuran



Gambar 1. Pengaruh konsentrasi TPGDA terhadap viskositas bahan pelapis.

oligomer dan monomer menentukan sifat film yang dihasilkan. Penambahan TPGDA dapat menurunkan viskositas larutan sehingga pelapisan permukaan menjadi lebih mudah dilakukan.

Sifat Lapisan pada Permukaan Keramik

Adesi

Tegangan tarik pada pengukuran adesi lapisan film hasil iradiasi UV dengan menggunakan uji tarik disajikan pada Tabel 1. Dari 15 contoh uji, sebagian besar terlepas pada bagian substrat, antara lain; 100% luas bagian terlepas pada substrat sebanyak 7 buah, dan sisanya dibawah 90% substrat yang terlepas. Hal ini berarti adesi antara lapisan dengan substrat keramik lebih kuat dibanding kohesi bahan substrat itu sendiri.

Tabel 1. Tegangan tarik film (kg/cm²) hasil iradiasi UV, pada pengukuran adesi menggunakan uji tarik

Konsentrasi TPGDA, %	Kecepatan konveyor, m/menit		
	2	4	5
0	13,6 100%A	35,1 100%A	6,8 100%A
5	20,6 100%A	7,96 90%A, 10%B/C	8,1 70%A, 30%B/C
10	29,2 60%A, 40%B/C	7,96 100%A	10,3 40%A, 60%A/B
15	20,4 100%A	11,3 90%A, 10%B/C	13,6 100%A
20	17 20%A, 80%B/C	15,2 70%A, 30%B/C	6,8 50%A, 50%A/B

Keterangan :

A = terlepas pada substrat,

B = terlepas pada lapisan

aA, bA/B = luasan substrat yang terlepas adalah a%,
 luasan lapisan yang terlepas adalah b%

Nilai tegangan minimum dan maksimum pada peristiwa terlepasnya substrat adalah 6,8 kg/cm² dan 35,1 kg/cm². Nilai adesi sesungguhnya antara lapisan dengan substrat lebih besar dari nilai yang ditunjukkan oleh tegangan tarik ketika keramik pada bagian pengujian

terlepas dari contoh uji. Adesi yang lebih kuat ini dapat disebabkan adanya bahan pelapis yang meresap pada permukaan keramik sehingga membentuk ikatan yang kuat antara lapisan dengan keramik. Semakin rendah viskositas bahan, semakin mudah penetrasinya ke dalam bahan substrat. Perbedaan tegangan tarik yang cukup besar pada keadaan terlepasnya substrat disebabkan adanya perbedaan porositas yang cukup tinggi pada contoh uji keramik. Perbedaan porositas yang cukup tinggi pada substrat menyebabkan adanya perbedaan kohesi pada bahan substrat dan tersebarnya data nilai tegangan tarik pada kondisi terlepasnya substrat, lapisan dari substrat, atau terlepasnya sebagian lapisan.

Kekerasan

Pengukuran kekerasan dilakukan dengan 2 cara, yaitu pengukuran menggunakan pensil standar dan menggunakan Pendulum *Hardness Rocker* dengan metode *Koenig*.

Kekerasan lapisan film epoksi akrilat pada permukaan keramik diukur menggunakan pensil standar disajikan dalam Tabel 2.

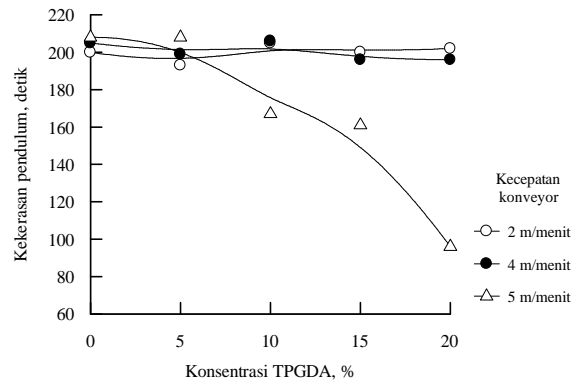
Tabel 2. Kekerasan lapisan epoksi akrilat hasil iradiasi UV dengan menggunakan pensil standar.

Konsentrasi TPGDA, %	Kecepatan konveyor, m/menit		
	2	4	5
0	2H	2H	2H
5	2H	2H	2H
10	2H	2H	H
15	2H	2H	2H
20	2H	2H	H*

* Permukaan lapisan tidak rata

Dengan naiknya konsentrasi TPGDA pada bahan pelapis sampai dengan 20 % berat, dan kecepatan konveyor 2 m/menit, 4 m/menit dan 5 m/menit tidak banyak mempengaruhi kekerasan lapisan. Kekerasan lapisan hasil iradiasi UV hampir sama yaitu, 2H. Konsentrasi TPGDA sampai dengan 20 % berat dan kecepatan konveyor 5 m/menit mempengaruhi kekerasan lapisan. Kekerasan turun 1 tingkat menjadi H, dan permukaan lapisan tidak rata.

Gambar 2 menunjukkan kekerasan lapisan diukur menggunakan Pendulum *Hardness Rocker*. Konsentrasi TPGDA sampai dengan 20 % berat dan iradiasi UV pada kecepatan konveyor 2 m/menit dan 4 m/menit, kekerasan pendulum antara 193detik hingga 206 detik. Pada kecepatan konveyor 5 m/menit, dan konsentrasi TPGDA 10 % berat kekerasan turun menjadi 167 detik, sedangkan pada konsentrasi TPGDA sebanyak 20 % kekerasan menjadi 96 detik. Semakin rendah kecepatan konveyor, semakin lama lapisan menerima radiasi, dan semakin banyak radikal yang terbentuk, sehingga fraksi gel meningkat [17].

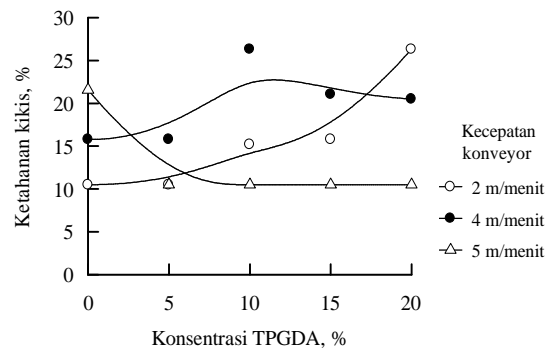


Gambar 2. Kekerasan lapisan film epoksi akrilat hasil iradiasi UV, diukur dengan Pendulum *Hardness Rocker*

Selanjutnya, dengan semakin banyak radikal yang terjadi, semakin banyak rantai yang terbentuk persatuan waktu, sehingga semakin banyak pula jumlah ikatan silang yang terjadi. Kenaikan jumlah ikatan silang akan menaikkan kekerasan film yang terjadi. Pada kecepatan konveyor 5 m/menit jumlah radikal yang terbentuk lebih sedikit dibanding pada kecepatan konveyor 2 m/menit dan 4 m/menit, dan ikatan silang yang terbentuk juga lebih sedikit. Hal ini mengakibatkan pembentukan gel menjadi lebih rendah, sehingga proses polimerisasi tidak sempurna.

Ketahanan Kikis

Ketahanan kikis lapisan epoksi akrilat pada permukaan keramik hasil iradiasi UV ditunjukkan pada Gambar 3.

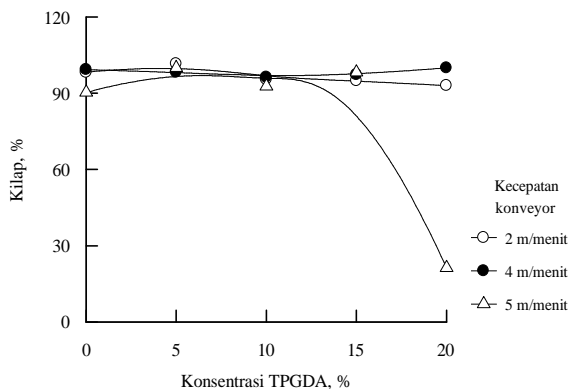


Gambar 3. Ketahanan kikis lapisan film epoksi akrilat hasil iradiasi UV

Kenaikan konsentrasi TPGDA dalam campuran bahan pelapis sampai dengan 20 % dan kecepatan konveyor 2 dan 4 m/menit, ketahanan kikis lapisan antara 10,50 % sampai dengan 26,31 %. Semakin tinggi kecepatan konveyor, menyebabkan ketahanan kikis lapisan semakin rendah. Kenaikan konsentrasi TPGDA sampai dengan 20 % berat, pada kecepatan konveyor 2 m/menit dan 4 m/menit hanya sedikit menurunkan ketahanan kikis, sedangkan pada kecepatan konveyor 5 m/menit terlihat ada penurunan secara nyata.

Kilap

Kilap lapisan film epoksi akrilat pada permukaan keramik hasil iradiasi UV ditunjukkan pada Gambar 4. Nilai kilap terendah contoh uji 21% pada lapisan dengan konsentrasi TPGDA 20 % dan kecepatan konveyor 5 m/menit. Nilai kilap tertinggi adalah 101 % pada lapisan dengan konsentrasi TPGDA 5 % dan kecepatan konveyor 2 m/menit. Pengukuran dilakukan dengan sudut 60°.



Gambar 4. Kilap lapisan film epoksi akrilat pada permukaan keramik

Ketahanan Terhadap Bahan Kimia, Pelarut dan Noda

Ketahanan terhadap bahan kimia, pelarut dilakukan dengan uji tetes menggunakan natrium karbonat 1%, asam asetat 5%, asam sulfat 10%, alkohol 10%, natrium hidroksida 10% dan bahan pengencer (*thinner*). Tabel 3 menyajikan ketahanan lapisan terhadap bahan kimia, pelarut dan noda pada berbagai konsentrasi TPGDA dan kecepatan konveyor. Ketahanan terhadap noda dilakukan dengan spidol permanen warna merah,

biru, dan hitam. Lapisan film epoksi akrilat pada umumnya tahan terhadap bahan kimia, dan beberapa contoh uji tidak tahan terhadap natrium karbonat 1%. Noda dari spidol warna merah, biru dan hitam, tidak memberikan bekas setelah dibersihkan dengan aseton. Ketahanan lapisan terhadap bahan kimia tergantung pada ikatan rangkap yang terdapat dalam oligomer, dan ikatan silang yang terbentuk. Faktor lain yang mempengaruhi hasil pengujian ketahanan terhadap bahan kimia adalah kondisi dari permukaan film (basah, retak, lengkung dan lain-lain), dan komposisi bahan pelapis.

KESIMPULAN

1. Dari berbagai konsentrasi TPGDA dalam campuran dengan resin epoksi akrilat, kekerasan lapisan hasil iradiasi UV yang diukur dengan pensil standar hampir sama, yaitu 2H. Lapisan dengan konsentrasi TPGDA 20 % dan kecepatan konveyor 5 m/menit, kekerasan turun 1 tingkat menjadi H.
2. Ketahanan kikis lapisan epoksi akrilat antara 10,5 % hingga 26,3 %. Pada kecepatan konveyor 5 m/menit dan konsentrasi TPGDA 20 %, ketahanan kikis lapisan ada penurunan secara nyata.
3. Adesi lapisan dengan menggunakan uji tarik (*pull-off test*) antara 6,8 kg/cm² hingga 35,1 kg/cm², dengan pola kerusakan pada substrat
4. Pada umumnya lapisan epoksi akrilat tahan terhadap bahan kimia, pelarut dan noda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada operator mesin UV di Instalasi Fasilitas Iradiasi, yang telah memberi layanan iradiasi dan Bapak Ir. Sugiarto

Tabel 3. Ketahanan terhadap bahan kimia/pelarut, dan noda lapisan epoksi akrilat hasil iradiasi UV.

TPGDA, %	Kecepatan konveyor, m/menit	Bahan kimia, pelarut dan noda								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
0	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	*	-	-	-	-	-	-	-	-
5	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	*	-	-	-	-	-	-	-	-
15	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	5	*	*	*	-	-	-	-	-	-
20	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	*
	5	*	-	-	*	-	-	-	*	*

Keterangan :
 A = Na₂CO₃ 1% D = Alkohol 10% G = Spidol warna merah
 B = CH₃COOH 5% E = NaOH 10% H = Spidol warna biru
 C = H₂SO₄ 10% F = Thinner I = Spidol warna hitam
 - = tanpa perubahan * = terjadi perubahan sedikit

Danu, APU., PATIR-BATAN, sehingga penelitian dan makalah ini dapat diselesaikan.

DAFTAR ACUAN

- [1]. SHAW, K., *Ceramic Glazes*, Applied Science Publishers Ltd., London (1971)
- [2]. MARUYAMA, T., OGAWA, M., and SUGIMOTO, K., Electron Beam Curing of Surface Coatings on Construction Materials, UNDP/IAEA/RCA, *Regional Executive Management Seminar on Industrial Radiation Curing Technology*, Jakarta (1990), unpublished
- [3]. TABATA, Y., Radiation Curing, an Overview, UNDP/IAEA/RCA, *Regional Executive Management Seminar on Industrial Radiation Curing Technology*, Jakarta, (1990), unpublished
- [4]. MARSONGKO, M., dan SUGIARTO DANU, Pelapisan Ubin Teraso dengan Teknik Radiasi. *Risalah Pertemuan Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi Dalam bidang Industri, Pertanian dan Lingkungan*, Jakarta, (1993) 135-141
- [5]. SUGIARTO DANU, ANIK SUNARNI, dan MARSONGKO, M., Pelapisan Berwarna pada Keramik dengan Radiasi Berkas Elektron. *Prosiding Pertemuan dan Presentasi Ilmiah, Penelitian dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir*, Yogyakarta, (1993) 30-35
- [6]. BEMPORAD, E., CARASSITI, F., TATA, A., GALLINARO, G., and PARIS, M., *Rad. Phys. Chem.*, **57** (2000) 393
- [7]. BAUER, F., and MEHNERT, R., *J. Polym. Res.*, **12** (2005) 483
- [8]. DECKER, C., and BIANCHI, C., *J. Matl. Sci.*, **40** (2005) 5491
- [9]. SENICH, G.A., and FLORIN, R.E., *Radiation curing of coating*, *Rev. Macromol. Chem. Phys.*, **C 24**(2) (1984) 239
- [10]. GOLDEN, R., Overview and Trends in Radiation Curing Technology. *Proceedings Radtech Europe '89*, Florence (1989) 11
- [11]. JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD, *Testing Methods for Organic Coatings (JIS K 5400)*, JIS, Japan (1970) 72
- [12]. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, *Paints and Varnishes, Pendulum Damping Test (ISO 1522-1973, E)* 348, (1973)
- [13]. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, *Paints and Varnishes, Pull of Adhesion (ISO 4629-1973, E)* (1973)
- [14]. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING and MATERIALS, *Annual Book of ASTM Standards*, Part 21, ASTM, Philadelphia (1972) 474
- [15]. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING and MATERIALS, *Annual Book of ASTM Standards*, Part 27, ASTM, Philadelphia (1982) 105
- [16]. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING and MATERIALS, *Annual Book of ASTM Standards*, Part 27, ASTM, Philadelphia (1982) 188
- [17]. SENG, H.P., *Test Methods for the Characterisation of UV and EB Cured Printing Varnishes*, Part 2, Beta-gamma 4 (1989) 25