

PENGARUH CUACA TERHADAP PERUBAHAN WARNA LAPISAN POLIESTER YANG DIIRADIASI SINAR ULTRA- VIOLET PADA PERMUKAAN KAYU KAMPER DAN KAYU SENGON

Sugiarto Danu, Yusup Sudo Hadi, dan Rina Novia Yanti

1290

PENGARUH CUACA TERHADAP PERUBAHAN WARNA LAPISAN POLIESTER YANG DIIRADIASI SINAR ULTRA-VIOLET PADA PERMUKAAN KAYU KAMPER (*Dryobalanops* spp.) DAN KAYU SENGON (*Paraserianthes falcataria*)*

Sugiarto Danu**, Yusuf Sudo Hadi***, dan Rina Novia Yanti***

ABSTRAK

PENGARUH CUACA TERHADAP PERUBAHAN WARNA LAPISAN POLIESTER YANG DIIRADIASI SINAR ULTRA-VIOLET PADA PERMUKAAN KAYU KAMPER (*Dryobalanops* spp.) DAN KAYU SENGON (*Paraserianthes falcataria*). Penelitian pengaruh cuaca telah dilakukan terhadap perubahan warna lapisan poliester yang diiradiasi sinar ultra-violet (UV) pada permukaan kayu kamper (*Dryobalanops* spp.) dan kayu sengon (*Paraserianthes falcataria*). Lapisan pada permukaan kayu terdiri dari dua lapisan yaitu lapisan dasar (campuran resin poliester tak jenuh, talk dan fotoinisiator 2-hidroksi-2-etil-1-fenil propanon) dan lapisan atas (campuran resin poliester tak jenuh, monomer stiren, dan fotoinisiator 2-hidroksi-2-etil-1-fenil propanon). Konsentrasi fotoinisiator pada lapisan dasar adalah 2 %, sedangkan konsentrasi fotoinisiator pada lapisan atas adalah 1,5 ; 2 ; 2,5 dan 3 % berat campuran poliester dan stiren. Lapisan dasar diiradiasi sinar-UV pada kecepatan konveyor 3 m/menit, sedangkan iradiasi lapisan atas dilakukan pada variasi kecepatan konveyor 3 ; 4 ; 5 dan 5,8 m/menit. Sumber radiasi -UV terdiri dari 1 lampu dengan daya 80 Watt/cm. Pengujian ketahanan terhadap cuaca dilakukan di udara terbuka sesuai dengan ISO 2810 – 1974. Perubahan warna lapisan diukur menggunakan Chromameter sesuai dengan ASTM D 2620-68 (1981). Hasil percobaan menunjukkan bahwa cuaca sangat berpengaruh terhadap perubahan warna lapisan poliester seperti ditunjukkan oleh nilai L, a dan b dalam notasi warna Hunter.

ABSTRACT

WEATHERING EFFECT ON COLOR CHANGE OF POLYESTER FILMS IRRADIATED BY USING ULTRA VIOLET LIGHT ON KAMPER WOOD (*Dryobalanops* spp.) AND SENGON WOOD (*Paraserianthes falcataria*). Effect of weathering on color change of polyester films irradiated by using ultra violet (UV) – light on kamper wood (*Dryobalanops* spp.) and sengon wood (*Paraserianthes falcataria*) has been evaluated. Film on wood surface consists of two layers i.e., base coat (the mixture of unsaturated polyester resin, talc and photoinitiator of 2-hydroxy-2-ethyl-1-phenyl propanone) and top coat (the mixture of unsaturated polyester resin, styrene monomer and photoinitiator of 2-hydroxy-2-ethyl-1-phenyl propanone). Photoinitiator concentration in the base coat was 2 %, whereas photoinitiator concentrations in the top

* Dibawakan pada Simposium Nasional Polimer III, HPI-ITB, Bandung, 8–9 Agustus 2001

** Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN

*** Jurusan Teknologi Hasil Hutan

coat were 1.5 ; 2 ; 2.5 and 3 % b weight of resin and styrene mixture. Irradiation of base coat was carried out at conveyor speed of 3 m/min. whereas for top coat at variable conveyor speed of 3 ; 4 ; 5 and 5.8 m/min. The UV-source consists of one lamp with intensity of 80 Watt/cm. Weathering test was conducted at out-door condition as described on ISO 2810-1974. The color change was determined by using Chromameter in accordance with ASTM D 2620-68 (1981). Experimental results showed that the color of polyester films were highly affected by the weather as indicated by the value of L, a and b in color notation of Hunter.

PENDAHULUAN

Kayu kamper mempunyai berat jenis antara 0,63 dan 0,94 g/cm³, termasuk kelas kuat I – II dan kelas awet III. Penggunaan kayu tersebut antara lain adalah untuk mebel, kusen, jendela, pintu, lantai parket, tiang dan lain-lain. Kayu sengon mempunyai sifat lebih rendah dibanding kayu kamper, yaitu mempunyai berat jenis antara 0,24 dan 0,49 g/cm³, dan termasuk kelas kuat IV – V, dan kelas awet IV – V. Jenis kayu ini biasanya dipakai untuk bahan bangunan, peti kemas, korek api, pigura, barang-barang kerajinan dan bahan baku pulp [1]. Pada umumnya produk barang jadi dari kayu memerlukan proses pelapisan permukaan untuk proteksi dari pengaruh luar yang bersifat merusak dan juga untuk meningkatkan penampilannya.

Salah satu bahan pelapis yang banyak dipakai untuk pelapisan permukaan kayu baik untuk pelapisan dasar, bahan pengisi (*filler*) maupun pelapisan atas adalah resin poliester tak jenuh. Resin poliester mempunyai sifat fisik dan mekanik yang cukup baik yaitu keras, kuat, dan bening, serta harganya relatif murah. [2,3]. Di berbagai negara resin poliester masih banyak digunakan. Sebagai contoh, di Jepang, aplikasi bahan pelapis untuk pelapisan kayu dengan radiasi UV menempati urutan pertama dibanding untuk penggunaan yang lain. Dengan konsumsi 7500 ton/tahun pangsa pasar bahan tersebut untuk pelapisan kayu merupakan 60 % dari total konsumsi bahan pelapis untuk radiasi

UV. Resin poliester tak jenuh merupakan 70 % dari bahan pelapis untuk pelapisan kayu secara radiasi UV [4]. Di Eropa, penggunaan resin poliester untuk pelapisan kayu secara radiasi (UV dan berkas elektron) sebesar 41 % dari total bahan pelapis untuk radiasi [5]. Monomer reaktif stiren merupakan monomer yang paling efektif dibanding monomer lain pada proses pengeringan (*curing*) dengan poliester, baik secara konvensional yaitu menggunakan katalisator maupun dengan radiasi (berkas elektron atau UV).

Beberapa produk dari kayu dalam penggunaan sehari-hari berada di luar ruangan (*out door*), sehingga menerima pengaruh lingkungan (cuaca) berupa paparan sinar matahari, kelembaban udara dan air hujan. Pengaruh cuaca tersebut berakibat terjadinya penurunan sifat fisik dan mekanik lapisan polimer berupa penurunan kilap, terkelupasnya lapisan, kerapuhan dan perubahan warna.

Tujuan penelitian ini ialah untuk mengetahui ada tidaknya perubahan warna lapisan poliester yang diiradiasi sinar-UV pada permukaan kayu kamper dan kayu sengon dengan hipotesis bahwa suatu polimer dapat mengalami perubahan warna karena degradasi sebagai akibat pengaruh cuaca. Dalam penelitian ini dipelajari pengaruh jenis kayu, konsentrasi fotoinisiator, dan kecepatan konveyor terhadap perubahan warna lapisan poliester. Adapun parameter yang diukur adalah perubahan warna lapisan menggunakan sistem Hunter dengan mengukur nilai warna L (warna akromatik putih, abu-abu dan hitam), a (warna akromatik campuran merah dan hijau) dan b (warna akromatik campuran biru dan kuning). Ketiga faktor tersebut (jenis kayu, konsentrasi fotoinisiator dan kecepatan konveyor) dipilih berdasarkan hipotesis bahwa perubahan warna akan terkait dengan jenis kayu dan polimerisasi ikatan silang pada lapisan. Polimerisasi ikatan silang yang terjadi dipengaruhi oleh konsentrasi fotoinisiator dan kecepatan konveyor.

METODE

Bahan.

Substrat berupa kayu kamper dan kayu sengon dengan kondisi kering tanur dibeli dari PT. Arus, Bogor. Bahan pelapis berupa resin poliestr tak jenuh dengan nama komersial Yucalac tipe 157 dibeli dari PT. Justus Sakti Raya Corporation, Jakarta. Monomer dan talk dibeli dari PT. Harumsari, Jakarta. Fotoinisiator 2-hidroksi-2-metil-1-fenil propanon dengan nama komersial Darocur 1173 buatan Merck, Jerman.

Alat.

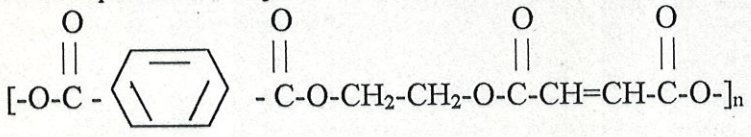
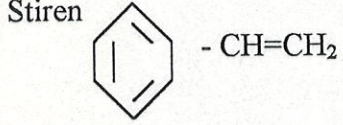
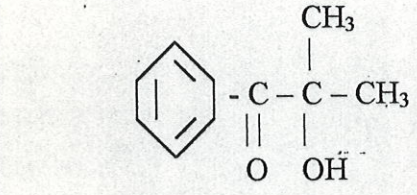
Pelapisan kayu dilakukan menggunakan alat semprot tekanan tinggi seri GM 2600 buatan Wagner GmbH, Jerman. Iradiasi lapisan dilakukan dengan sistem konveyor menggunakan sumber radisi-UV 1 lampu dengan daya 80 Watt/cm buatan IST Strahlentechnik, Jerman.

Percobaan.

Kayu kamper (kadar air : 10,0 - 14,6 %) dan kayu sengon (kadar air : ± 10 %) dengan tebal 0,5 cm dipotong menjadi berukuran 20 cm x 5 cm. Kayu diampelas menggunakan kertas ampelas dengan kekasaran # 240, dilapisi bahan pelapis dasar kemudian diiradiasi sinar-UV pada kecepatan conveyor 3 m/menit. Bahan pelapis dasar merupakan campuran resin poliester tak jenuh, fotoinisiator dan talk. Lapisan dasar yang sudah diiradiasi diampelas lagi dengan kertas ampelas yang sama, kemudian dilapisi bahan pelapis atas menggunakan alat semprot tekanan tinggi. Iradiasi lapisan atas dilakukan pada variasi kecepatan konveyor 3 ; 4 ; 5 dan 5,8 m/menit. Bahan pelapis atas terdiri dari campuran resin poliester, monomer stiren dan fotoinisiator. Perbandingan berat poliester dan stiren adalah 100 : 7, sedangkan kadar fotoinisiator adalah 1,5 ; 2 ; 2,5

dan 3 % berat campuran poliester dan stiren. Perbandingan berat komponen bahan pelapis terdapat pada Tabel 1. Pengujian pengaruh cuaca dilakukan sesuai ISO. 2810 – 1974 dengan meletakkan contoh uji di rak dengan sudut kemiringan 45⁰ menghadap

Tabel 1. Komponen bahan pelapis dasar dan bahan pelapis atas.

Komponen	Perbandingan berat	
	Bahan pelapis dasar	Bahan pelapis atas
Resin poliester tak jenuh 	100	100
Stiren 	-	7
2-Hidroksi-2-metil-1-fenil-propanon 	2	1,5 ; 2 ; 2,5 ; 3
Talk	10	-

ekuator [6]. Pengujian dilakukan antara bulan Agustus 1998 s.d Oktober 1998 di Pasar Jumat, Jakarta Selatan, dengan selang pengukuran warna 6 - 7 hari. Pengukuran warna dilakukan menggunakan Chromameter tipe CR 200. b merek Minolta dengan sistem Hunter, sesuai ASTM D 2620-68 (1981). Warna yang diukur telah dikonversikan langsung ke nilai L, a dan b. Percobaan dilakukan secara faktorial menggunakan rancangan acak kelompok dengan tiga faktor dan empat kali ulangan. Ketiga faktor

tersebut adalah jenis kayu (2 taraf), konsentrasi fotoinisiator (4 taraf), dan kecepatan konveyor (4 taraf).

HASIL DAN PEMBAHASAN

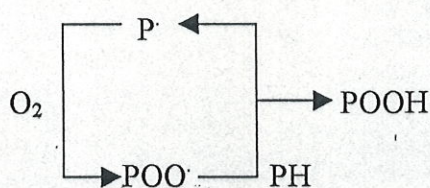
Degradasi Polimer dan Perubahan Warna

Reaksi yang terjadi antara resin poliester tak jenuh dengan monomer stiren berlangsung melalui polimerisasi radikal. Pengeringan campuran tersebut karena adanya reaksi kopolimerisasi ikatan silang yang membentuk jaringan tiga dimensi antara monomer stiren dengan ikatan rangkap pada poliester tak jenuh. Semakin banyak radiasi yang diterima, semakin banyak jumlah ikatan rangkap yang terbentuk, semakin banyak pula jaringan atau gel yang terbentuk. Setelah jaringan semakin padat, difusi stiren semakin sulit untuk bereaksi dengan ikatan rangkap poliester. Stiren tersebut akan bereaksi dengan radikal polistiren yang terikat pada rantai poliester atau dengan radikal polistiren yang baru terbentuk di luar jaringan dan menghasilkan homopolimer polistiren. Jadi, selain kopolimer poliester – stiren, terbentuk juga homopolimer polistiren [7].

Pada umumnya polimer rentan terhadap pengaruh cuaca. Pengaruh cuaca tersebut dapat berupa kombinasi panas, sinar, dan interaksi oksigen dengan polimer, sehingga menyebabkan fotodegradasi. Fotodegradasi terjadi melalui beberapa tahap. Tahap 1 merupakan penyerapan sinar-UV oleh polimer (P) sehingga menyebabkan polimer dalam keadaan tereksitasi (P^*). Molekul polimer tereksitasi tersebut selanjutnya mengalami beberapa proses untuk melepaskan energinya. Proses yang paling banyak terjadi adalah reaksi fotokimia (tahap 2) menghasilkan radikal bebas polimer ($P^{\cdot}$). Pada tahap 3, jika

radikal bebas sudah terbentuk dalam sistem polimer, cepat atau lambat akan terjadi penurunan sifat fisik polimer.

Sejak terbentuknya radikal, sistem akan mengalami oto-oksidasi sehingga menyebabkan degradasi polimer melalui siklus tertentu. Radikal bebas ($P^\cdot$) bereaksi dengan oksigen membentuk radikal bebas peroksi ($POO^\cdot$). Radikal bebas peroksi selanjutnya mengikat hidrogen dari molekul polimer yang lain, (PH) menghasilkan hidroperoksida polimer ($POOH$) selain radikal polimer yang baru. Satu radikal baru yang terbentuk dapat menghasilkan beribu-ribu hidroperoksida polimer. Hidroperoksida inilah yang selanjutnya akan berperan dalam pemecahan rantai polimer. Gambar 1 menunjukkan skema siklus proses oto-oksidasi polimer [8].

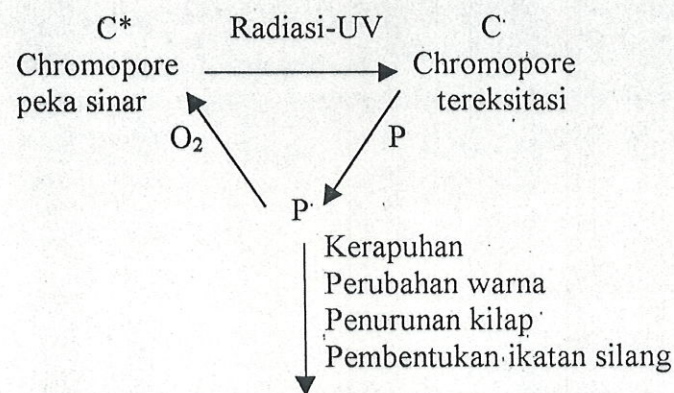


Gambar 1. Skema proses oto-oksidasi polimer.

Radikal-radikal bebas berperan melakukan reaksi rantai yang dipercepat oleh penyerapan sinar. Menurut KELLEN yang dikutip oleh CAUFFMAN [9], faktor lingkungan misalnya radiasi elektromagnetis dari alam mempunyai energi yang cukup untuk memecah ikatan kimia polimer. Energi disosiasi ikatan pada sebagian besar ikatan dalam polimer berada antara 98,7 kkal/mol yaitu ikatan C - H sampai 108 kkal/mol pada ikatan C - F.

Reaksi radikal bebas polimer dengan oksigen membentuk chromopore yang peka terhadap sinar. Chromopore tersebut dapat berupa hidroperoksida atau senyawa hasil dekomposisi, misalnya suatu keton yang terjadi selama proses oto-oksidasi. Radiasi-UV

menyebabkan chromopore tereksitasi sehingga mengalami reaksi fotokimia dalam sistem polimer dan selanjutnya menyebabkan terbentuknya radikal-radikal polimer yang lebih banyak lagi. Sinar-UV mempunyai energi yang cukup untuk menyebabkan terjadinya dekomposisi pada hidroperoksida yang terbentuk dari proses oksidasi. Fotodegradasi menyebabkan penurunan kualitas polimer berupa perubahan warna, penurunan kilap, pembentukan ikatan silang, dan kerapuhan. Siklus fotodegradasi suatu polimer dapat diartikan dengan skema seperti terlihat pada Gambar 2.



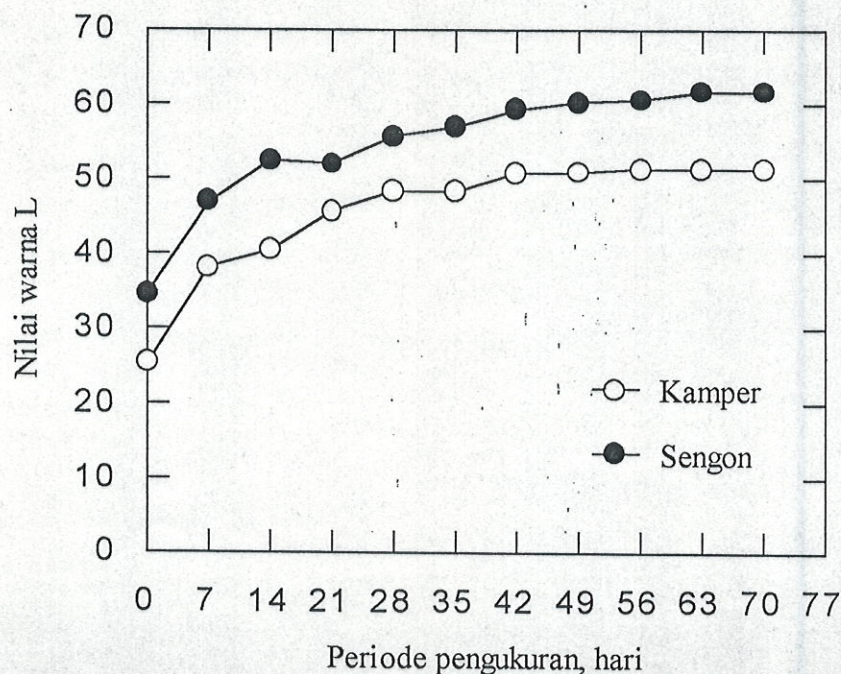
Gambar 2. Skema siklus proses degradasi polimer karena pengaruh sinar (fotodegradasi).

Pada prinsipnya warna dapat ditentukan dengan cara mengukur perbandingan jumlah sinar yang dipantulkan oleh permukaan bahan dengan warna yang dipantulkan oleh permukaan warna putih. Salah satu sistem notasi warna adalah sistem warna Hunter. Sistem warna Hunter dapat saling dikonversikan dengan sistem yang lain, dan masing-masing menggunakan 3 parameter atau dimensi untuk menyatakan suatu warna. Menurut SOEKARTO dalam TANHINDARTO dkk. [10], sistem ini mendekati panca indera penglihatan manusia yang dinyatakan dengan nilai L, a dan b. Notasi L menyatakan cahaya pantul yang menghasilkan warna akromatik putih, abu-abu dan hitam, a

menyatakan warna kromatik campuran merah dan hijau dengan nilai positif untuk warna merah dan negatif untuk warna hijau, sedangkan notasi b menyatakan warna kromatik campuran biru dan kuning dengan nilai positif untuk warna biru dan negatif untuk warna kuning.

Nilai Warna L

Data yang diperoleh tidak begitu seragam. Hal ini terjadi karena beberapa faktor, antara lain perbedaan alami warna kayu pada sebagian besar contoh uji, terutama kayu yang berwarna gelap dan terang. Kayu berwarna gelap cenderung memantulkan sinar lebih rendah dibandingkan dengan kayu warna terang. Selain itu, pada satu contoh uji sudah terdapat perbedaan warna, yang selanjutnya akan menyebabkan ketidakseragaman data warna yang diperoleh. Salah satu contoh perubahan nilai warna L selama 70 hari pengujian dapat dilihat pada Gambar 3. Tampak bahwa pada komposisi bahan pelapis



Gambar 3. Nilai warna L pada pengujian cuaca selama 70 hari
Konsentrasi fotoinisiator : 1,5 %
Kecepatan konveyor : 3 m/menit

dan kondisi iradiasi yang sama, nilai warna L berbeda pada permukaan kayu yang berbeda. Nilai warna L meningkat sebagai fungsi waktu pengujian. Pada berbagai konsentrasi fotoinisiator dan kecepatan konveyor nilai L' relatif hampir sama yaitu antara 23 dan 27 pada permukaan kayu kamper dan antara 33 dan 36 pada permukaan kayu sengon (Tabel 2). Nilai warna L pada kayu sengon lebih tinggi dibanding lapisan pada kayu kamper. Hal ini disebabkan karena kayu kamper berwarna coklat, lebih gelap dibanding warna kayu sengon yang berwarna putih agak kecoklatan. Nilai warna L kayu sengon cenderung lebih mendekati putih sehingga mempunyai nilai warna positif lebih tinggi dibanding lapisan pada kayu kamper. Setelah pengujian selama 70 hari nilai perubahan warna L lapisan pada kayu kamper sekitar antara 18 dan 28 sedangkan pada kayu sengon antara 23 dan 28. Analisis keragaman seperti terlihat pada Tabel 3 menunjukkan bahwa jenis kayu berpengaruh sangat nyata terhadap perubahan nilai warna L karena pengujian cuaca. Selain jenis kayu, interaksi antara jenis kayu dan konsentrasi fotoinisiator berpengaruh sangat nyata terhadap nilai warna L, pada selang kepercayaan 99 %, sedangkan konsentrasi fotoinisiator, kecepatan konveyor, interaksi antara jenis kayu, konsentrasi fotoinisiator dan kecepatan konveyor tidak berpengaruh nyata terhadap nilai perubahan warna. Dengan demikian, jenis kayu dan interaksi antara jenis kayu dengan konsentrasi fotoinisiator memberikan nilai yang berbeda terhadap perubahan warna lapisan pada kayu karena pengaruh cuaca. Dalam sistem iradiasi campuran poliester tak jenuh dengan stiren, selain kopolimer poliester dan stiren, terbentuk juga homopolimer polistiren. Komposisi bahan pelapis yang mengandung senyawa aromatik misalnya resin epoksi, uretan, dan campuran poliester-stiren menghasilkan lapisan dengan sifat-sifat fisik yang baik. Tetapi, adanya gugus

Tabel 2. Nilai warna L lapisan poliester pada permukaan kayu kamper dan kayu sengon sesudah pengujian cuaca selama 70 hari.

Jenis kayu	Konsentrasi fotoinisiator, %	Kecepatan konveyor, m/men.	L awal	L akhir	Nilai perubahan
Kamper	1,5	3	25,3	51,3	26,0
		4	26,9	55,1	28,2
		5	24,9	51,8	26,9
		5,8	25,3	50,9	25,6
	2	3	25,3	50,8	25,5
		4	24,7	50,7	26,0
		5	25,3	50,6	25,3
		5,8	25,2	50,3	25,1
	2,5	3	25,2	51,6	26,4
		4	26,2	44,9	18,7
		5	24,8	45,5	20,7
		5,8	21,9	48,3	26,4
	3	3	25,4	47,5	22,1
		4	27,1	51,5	24,4
		5	24,4	47,4	23,0
		5,8	23,0	45,3	24,3
Sengon	1,5	3	34,7	61,7	27,0
		4	35,1	62,2	27,1
		5	35,3	61,3	26,0
		5,8	36,0	59,8	23,8
	2	3	35,9	64,5	28,6
		4	34,9	61,2	26,2
		5	33,6	60,8	27,2
		5,8	35,1	62,3	27,2
	2,5	3	33,8	60,2	26,4
		4	35,0	62,7	27,7
		5	35,2	63,1	27,9
		5,8	34,6	60,4	25,8
	3	3	35,6	64,0	28,4
		4	35,8	63,0	27,2
		5	36,8	63,4	26,6
		5,8	35,4	62,8	27,4

aromatik pada senyawa tersebut memberikan kelemahan pada sifat ketahanan terhadap cuaca. *Chromopore* pada senyawa aromatik ini menyerap sinar matahari secara langsung dan kemudian mengalami reaksi yang menyebabkan degradasi.

Tabel 3. Analisis keragaman nilai warna L.

Sumber keragaman	Db	JKT	KT	F _{hitung}	F _{tabel}	
					0,05	0.01
Perlakuan	31	615,47	19,85	2,32		
Blok	3	34,02	11,34	1,33	2,71	4,03
Jenis kayu (A)	1	161,78	161,78	18,94**	3,95	6,95
Konsentrasi fotoinisiator (B)	3	51,29	17,10	2,00 tn	2,71	4,03
Kecepatan konveyor (C)	3	11,10	3,70	0,43 tn	2,71	4,03
Interaksi A dan B	3	121,36	40,45	4,74**	2,71	4,03
Interaksi A dan C	3	26,51	8,84	1,03 tn	2,71	4,03
Interaksi B dan C	9	93,55	10,40	1,22 tn	1,99	2,63
Interaksi A, B dan C	9	149,87	16,65	1,95 tn	1,99	2,63
Sisaan	96	794,52	8,54			
Total	127	1444,02				

Keterangan : ** =sangat nyata; * =nyata; tn = tidak nyata

Menurut Mc KELLAR dan ALLEN yang dikutip oleh GATECHAIR [8], chromopore aromatik pada stiren menyebabkan sifat peka terhadap sinar. Hal ini juga dinyatakan oleh GEUSKEN dalam SCHNABEL [11] bahwa fotolisa polistiren yang mengandung beberapa pengotor berupa hidroperoksida akan mengalami pemutusan rantai utama yang menyebabkan degradasi polimer yang selanjutnya menyebabkan perubahan warna secara keseluruhan.

Nilai Warna a

Nilai warna a menyatakan warna akromatik campuran warna merah (+) dan warna hijau (-). Perubahan nilai warna a lapisan poliester setelah pengujian selama 70 hari terdapat pada Tabel 4. Nilai warna a lapisan pada kayu kamper mula-mula antara 128 dan 139, dan setelah pengujian berkisar antara 6 dan 11. Hal ini menunjukkan bahwa penurunan nilai a sangat drastis setelah 70 hari. Kecenderungan pergeseran dari komponen warna merah menuju hijau sangat besar. Demikian juga dengan lapisan pada kayu sengon. Nilai warna a yang semula antara 154 dan 165 menjadi hanya antara 5 dan

Tabel 4. Nilai warna a lapisan poliester pada permukaan kayu kamper dan kayu sengon sesudah pengujian cuaca selama 70 hari.

Jenis kayu	Konsentrasi fotoinisiator, %	Kecepatan konveyor, m/men.	a awal	a akhir	Nilai perubahan
Kamper	1,5	3	136,7	7,1	129,6
		4	138,8	7,2	131,6
		5	135,7	8,3	127,4
		5,8	136,4	6,2	130,2
	2	3	137,1	7,7	129,4
		4	136,1	8,1	128,0
		5	136,9	8,0	128,9
		5,8	136,6	8,3	128,3
	2,5	3	136,2	8,2	128,0
		4	139,1	11,3	127,8
		5	136,5	11,2	125,3
		5,8	130,9	9,5	121,4
	3	3	136,2	11,6	124,6
		4	139,0	11,8	127,2
		5	135,4	10,4	125,0
		5,8	128,0	10,0	118,0
Sengon	1,5	3	161,9	7,1	154,8
		4	162,2	5,9	156,3
		5	162,5	6,0	156,5
		5,8	162,5	4,8	157,7
	2	3	162,5	6,6	155,9
		4	160,8	6,0	154,8
		5	158,0	6,6	151,4
		5,8	160,5	7,3	153,2
	2,5	3	160,0	7,4	152,6
		4	161,8	7,3	154,5
		5	162,1	8,3	153,8
		5,8	154,7	6,5	148,2
	3	3	163,2	7,8	155,4
		4	163,1	7,4	155,7
		5	165,5	7,0	158,5
		5,8	165,8	7,7	158,1

8. Perbedaan warna a mula-mula lapisan pada kayu kamper dan kayu sengon disebabkan pengaruh warna kayu yang berbeda. Hasil analisis keragaman pada Tabel 5 menunjukkan bahwa jenis kayu memberikan pengaruh sangat nyata pada selang kepercayaan 99 %.

Konsentrasi fotoinisiator, interaksi antara jenis kayu dengan konsentrasi fotoinisiator memberikan pengaruh nyata pada selang kepercayaan 95 %. Faktor kecepatan konveyor, interaksi antara jenis kayu, konsentrasi fotoinisiator dan kecepatan konveyor memberikan pengaruh tidak nyata. Dengan demikian jenis kayu memberikan nilai yang berbeda terhadap perubahan warna a lapisan kayu karena pengaruh cuaca.

Tabel 5. Analisis keragaman nilai warna a.

Sumber keragaman	Db	JKT	KT	F _{hitung}	F _{tabel}	
					0,05	0.01
Perlakuan	31	26676,51	860,53	31,94		
Blok	3	181,97	60,66	2,25	2,71	4,03
Jenis kayu (A)	1	25736,13	25736,13	955,35**	3,95	6,95
Konsentrasi fotoinisiator (B)	3	262,06	87,35	3,4*	2,71	4,03
Kecepatan konveyor (C)	3	56,39	18,80	0,70 tn	2,71	4,03
Interaksi A dan B	3	234,68	78,23	2,90	2,71	4,03
Interaksi A dan C	3	113,53	37,84	1,40 tn	2,71	4,03
Interaksi B dan C	9	107,79	11,98	0,44 tn	1,99	2,63
Interaksi A, B dan C	9	165,93	18,44	0,68 tn	1,99	2,63
Sisaan	96	2505,33	26,94			
Total	127	29363,81				

Keterangan : ** = sangat nyata ; * = nyata ; tn = tidak nyata

Nilai warna b.

Nilai warna b lapisan pada berbagai konsentrasi fotoinisiator dan kecepatan konveyor karena pengaruh cuaca tertera pada Tabel 6. Sebelum pengujian, nilai warna b lapisan pada kayu kamper berkisar antara 17 dan 21 dan setelah pengujian turun menjadi antara 11 dan 18. Nilai warna b lapisan pada kayu sengon sebelum pengujian berkisar antara 25 dan 30, dan setelah pengujian antara 22 dan 29. Walaupun perbedaan warna b sebelum dan sesudah pengujian tidak terlalu besar, tetapi terdapat kecenderungan perubahan warna ke arah kuning. Nilai perubahan b relatif kecil dibanding perubahan

Tabel 6. Nilai warna b lapisan poliester pada permukaan kayu kamper dan kayu sengon setelah pengujian cuaca selama 70 hari.

Jenis kayu	Konsentrasi fotoinisiator, %	Kecepatan konveyor, m/men.	b awal	b akhir	Nilai perubahan
Kamper	1,5	3	18,7	12,2	6,5
		4	20,8	15,7	5,1
		5	18,7	14,2	4,5
		5,8	18,4	11,8	6,6
	2	3	17,9	14,2	3,7
		4	18,8	14,4	4,4
		5	19,1	16,6	2,5
		5,8	19,6	14,4	5,2
	2,5	3	19,2	15,5	3,7
		4	20,1	18,2	1,9
		5	19,5	16,6	9,9
		5,8	18,2	17,5	0,8
	3	3	21,1	19,0	2,8
		4	19,9	18,4	1,5
		5	19,0	12,3	6,7
		5,8	17,8	17,4	0,4
Sengon	1,5	3	28,7	26,2	2,5
		4	26,9	21,6	5,3
		5	28,3	21,7	6,6
		5,8	27,3	19,8	7,5
	2	3	27,7	23,5	4,2
		4	28,6	23,3	5,3
		5	28,1	22,4	5,7
		5,8	27,7	24,6	3,1
	2,5	3	27,6	24,3	3,3
		4	25,7	25,8	4,8
		5	29,7	29,2	0,5
		5,8	27,3	24,2	3,1
	3	3	30,3	28,8	1,5
		4	28,8	27,0	1,8
		5	29,4	25,2	4,2
		5,8	29,6	26,4	3,2

warna L dan a. Konsentrasi fotoinisiator memberikan pengaruh sangat nyata, sedangkan jenis kayu, kecepatan konveyor dan interaksi antara dua faktor maupun ketiga faktor tersebut memberikan pengaruh tidak nyata terhadap perubahan warna b (Tabel 7).

Semakin tinggi konsentrasi fotoinisiator, pada umumnya semakin tinggi kecenderungan suatu lapisan bening akan berubah warna menjadi lebih kuning. Disamping itu, semakin lama lapisan menerima paparan sinar-UV dari matahari, semakin besar perubahan warna. Pada umumnya salah satu kelemahan lapisan hasil pengeringan menggunakan radiasi-UV adalah kecenderungan terjadinya perubahan warna menjadi kekuning-kuningan. Fotoinisiator 2-hidroksi-2-etil-1-fenil propanon merupakan turunan dari senyawa

Tabel 7. Analisis keragaman nilai warna b.

Sumber keragaman	Db	JKT	KT	F _{hitung}	F _{tabel}	
					0,05	0.01
Perlakuan	31	359,15	11,58	2,00		
Blok	3	85,52	28,51	4,93	2,71	4,03
Jenis kayu (A)	1	8,10	8,10	1,40 tn	3,95	6,95
Konsentrasi fotoinisiator (B)	3	213,37	71,13	12,29**	2,71	4,03
Kecepatan konveyor (C)	3	6,01	2,00	0,35 tn	2,71	4,03
Interaksi A dan B	3	18,58	6,19	1,07 tn	2,71	4,03
Interaksi A dan C	3	5,32	1,77	0,31 tn	2,71	4,03
Interaksi B dan C	9	44,97	5,00	0,86 tn	1,99	2,63
Interaksi A, B dan C	9	62,77	6,91	1,21 tn	1,99	2,63
Sisaan	96	538,17	5,79			
Total	127	982,83				

Keterangan : ** = sangat nyata; * = nyata ; tn = tidak nyata

asetofenon yang relatif lebih stabil dibanding fotoinisiator yang merupakan turunan dari senyawa kimia yang lain [12]. Dengan demikian hanya konsentrasi fotoinisiator memberikan nilai yang berbeda terhadap perubahan warna b karena pengaruh cuaca.

Dari data perubahan warna L, a dan b dapat disimpulkan bahwa faktor jenis kayu, konsentrasi fotoinisiator dan kecepatan konveyor memberikan pengaruh yang berbeda terhadap nilai warna L, a dan b lapisan poliester pada permukaan kayu kamper dan kayu sengon akibat pengaruh cuaca. Penurunan nilai b memberikan indikasi bahwa lapisan cenderung berubah warna ke arah kuning. Dalam aplikasi pelapisan, konsentrasi

fotoinisiator terendah (1,5 %) dan kecepatan konveyor tertinggi (5,8 m/menit) dapat dipilih sebagai kondisi terbaik.

KESIMPULAN

Lapisan polimer yang dibuat dari campuran resin poliester tak jenuh dan stiren pada permukaan kayu kamper dan kayu sengon yang diiradiasi sinar-UV dipengaruhi oleh cuaca, seperti ditunjukkan oleh perubahan warna lapisan. Hasil analisis keragaman menunjukkan bahwa faktor jenis kayu, konsentrasi fotoinisiator dan kecepatan konveyor memberikan pengaruh yang berbeda terhadap perubahan warna lapisan setelah pengujian cuaca selama 70 hari. Hal ini ditunjukkan oleh perubahan nilai warna L, a dan b pada sistem notasi warna Hunter. Lapisan cenderung berubah dari komponen warna gelap ke warna putih (perubahan nilai warna L), dari warna merah ke hijau (perubahan nilai warna a) dan dari biru ke kuning (perubahan warna b). Konsentrasi fotoinisiator sebesar 1,5 % dari berat campuran resin poliester dan monomer stiren, dan kecepatan konveyor 5,8 m/menit dapat dipilih untuk aplikasi proses pelapisan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Para penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh operator di Instalasi Fasilitas Iradiasi, Puslitbang Teknologi Isotop dan Radiasi, BATAN, yang telah membantu pelaksanaan iradiasi contoh uji menggunakan sumber radiasi-UV.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANONYMOUS, " Directory of Indonesian & Wood Product Manufacturers", Indonesian Sawmillers & Wood Manufacturers Association, Jakarta (1988).
2. HOLMAN, R., and OLDRING, F., UV & EB Curing Formulation for Printing Inks, SITA - Technology, London (1988).
3. LAWSON, K., "UV & EB Curing in North America-1993", (Proc. of RadTech Asia'93), 7-18, (1993).
4. SASAKI, T., and YONEHARA, H., "An Overview on Radiation Curing Technology in Japan, Yokohama (2000) 1.
5. LAWSON, K., "The Status of UV/EB Curable Products in North America, 1998-1999", Proc. RadTech Asia'99, Malaysian Institute for Nuclear Tech. Research & Malaysian Nuclear Society, Kuala Lumpur (1999) 1.
6. ANONYMOUS, Paints and Varnishes, Notes for guidance on the conduct of natural weathering test, ISO 2810-1974 (1985) 394.
7. SAKAGUCHI, K., and TAKEMOTO, K., "Conversion of fumarate double bonds in unsaturated polyester resins in copolymerization with styrene", J. of Macromol. Sc. and Chem. 10 6 (1976) 1117.
8. GATECHAIR, L. R., Weathering of UV Cured Coating, UV Curing : Science and Technology, Vol. 15 (Pappas. S. P., ed.) Technology Marketing Corporation, Norwalk, (1985) 295.
9. CAUFFMAN, T. E., "The Influence of Urethane Acrylate Molecular Weight and Structure on Accelerated Weathering", Proc. RadTech North America'94 2 Orlando (1994) 229.
10. TANHINDARTO, R.P., KICKY., dan ARMANU, " Pengukuran Dosimeter Perspeks Merah Dengan Alat Ukur Chromameter", Pros. Presentasi Ilmiah Keselamatan Radiasi Dan Lingkungan V, Pusat Standardisasi Dan Penelitian Keselamatan Radiasi, BATAN (1997) 32.
11. SCHNABEL, W, Polymer Degradation, Macmillan Publishing Co., Inc., New York (1981).
12. HANRAHAN, J.M., " The Effect of Photoinitiator Concentration on The Properties of UV Formulation", Proc. RadTech'90-North America, RadTech International North America, Chicago (1990) 249.