

# ANALISIS TERMOGRAVIMETRI POLIMER CAMPURAN AKRILAT - VINIL ETER HASIL "CURING" SECARA RADIASI

Sugiarto Danu\* dan Takashi Sasaki\*\*



ID0000134

\* Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN

\*\* Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment - JAERI, Takasaki, Jepang

## ABSTRAK

**ANALISIS TERMOGRAVIMETRI POLIMER CAMPURAN AKRILAT - VINIL ETER HASIL "CURING" SECARA RADIASI.** Penelitian untuk menentukan sifat kestabilan termal lapisan polimer campuran akrilat dan vinil eter hasil "curing" secara radiasi telah dilakukan menggunakan analisis termogravimetri. Tiga macam oligomer akrilat yaitu epoksi akrilat, uretan akrilat, dan polipropilen glikol diakrilat, serta monomer vinil eter yaitu trietilen glikol divinil eter (DVE-3), 1,4-sikloheksan dimetanol divinil eter (CHVE), dan butandiol monovinil eter (HBVE) dipakai dalam penelitian ini. Iradiasi dilakukan menggunakan mesin berkas elektron pada dosis antara 20 dan 80 kGy dalam atmosfer nitrogen. Polimerisasi berlangsung melalui polimerisasi radikal dan kationik. Dalam hal polimerisasi kationik, campuran ditambah fotoinisiator difeniliodonium heksafluorofosfat ( $\text{Ph}_2\text{IPF}_6$ ). Analisis termogravimetri dilakukan dalam atmosfer nitrogen dengan kecepatan aliran nitrogen 40 ml/menit dan kecepatan pemanasan 10 °C/menit dengan rentang suhu pengukuran antara 25 dan 500 °C. Hasil percobaan menunjukkan bahwa campuran polimer akrilat dan DVE-3 menghasilkan lapisan dengan kestabilan termal lebih tinggi dibanding campuran dengan CHVE atau HBVE. Komposisi campuran akrilat dengan vinil eter, dan derajat ketidakjenuhan monomer vinil eter, menentukan kestabilan termal polimer. Oligomer epoksi akrilat dan polipropilen glikol diakrilat dalam campurannya dengan monomer vinil eter mempunyai 1 suhu awal dekomposisi termal sedangkan campuran uretan akrilat dengan vinil eter mempunyai 2 suhu awal dekomposisi termal.

## ABSTRACT

**THERMOGRAVIMETRIC ANALYSIS OF THE POLYMER ACRYLATE - VINYL ETHER MIXTURE CURED BY RADIATION.** An experiment on thermal stability of the polymer acrylate - vinyl ether mixture cured by radiation have been done using thermogravimetric analysis. Three kinds of acrylic oligomers i.e., epoxy acrylate, urethane acrylate, and polypropylene glycol diacrylate, and vinyl ether monomers i.e., triethylene glycol divinyl ether (DVE-3), 1,4 - cyclohexane dimethanol divinyl ether (CHVE), and butanediol monovinyl ether (HBVE) were used in the experiment. Reaction was taken via radical and cationic polymerisation. In case of cationic polymerisation, diphenyliodonium hexafluorophosphate fotoinisiator was used in the formulation. Thermogravimetric analysis was conducted in a nitrogen atmosphere at a flow rate of 40 ml/minute with a constant heating rate 10 °C and evaluation range were done from 25 to 500 °C. The results of thermogravimetric analysis showed that acrylate and DVE-3 mixture produced the polymer films with higher thermal stability than the mixture of acrylate with CHVE or HBVE. The composition of acrylate - vinyl ether mixture and degree of unsaturation of vinyl ether monomers influenced the thermal stability of polymer. The mixture of epoxy acrylate - vinyl ether and polypropylene glycol diacrylate - vinyl ether have 1 initial decomposition temperature whereas the urethane acrylate - vinyl ether mixture has 2 initial decomposition temperatures.

## PENDAHULUAN

Pada umumnya bahan pelapis radiasi didasarkan pada molekul-molekul yang mengandung gugus fungsional akrilat karena kecepatan pengeringannya ("curing") yang tinggi jika diiradiasi berkas elektron atau sinar-UV. Menurut GOLDEN [1], hampir 95 % bahan pelapis radiasi merupakan senyawa akrilat, dan polimerisasi berlangsung melalui reaksi ikatan silang radikal bebas. Sistem bahan pelapis yang mengandung monomer akrilat sebagai diluen mempunyai beberapa kelemahan karena monomer ini mempunyai bau yang tajam, toksik, serta menyebabkan iritasi. Salah satu diluen reaktif yang mempunyai sifat iritasi dan toksisitas rendah jika dibandingkan monomer akrilat adalah monomer vinil eter. Reaksi antara oligomer akrilat

dengan monomer vinil eter dapat berlangsung melalui polimerisasi radikal, kationik, atau hibrida. Beberapa peneliti telah mempelajari reaksi antara oligomer akrilat dengan monomer vinil eter, baik dari segi kinetika, mekanisme reaksi, maupun sifat fisik dan mekanik lapisan hasil iradiasi [2-4]. Dalam aplikasinya sifat lapisan polimer yang dipakai sebagai bahan pelapis permukaan harus dapat melindungi permukaan bahan dari pengaruh luar yang bersifat merusak, misalnya gesekan, panas, cuaca, bahan kimia dan lain-lain. Penekanan perlindungan ini tergantung pada keadaan yang dialami bahan tersebut selama pemakaiannya. Beberapa produk tertentu misalnya mebel dapur, "printed circuit boards", reflektor, sel matahari, dan semua produk pelapisan yang mengalami pemanasan selama pemakaiannya, memerlukan lapisan yang

mempunyai kestabilan termal yang tinggi. Analisis termogravimetri merupakan metode yang paling penting untuk mempelajari kestabilan termal polimer.

Dalam penelitian ini dipelajari sifat termal lapisan polimer campuran oligomer akrilat dan monomer vinil eter hasil "curing" menggunakan radiasi berkas elektron. Adapun oligomer akrilat yang dipakai adalah epoksi akrilat, uretan akrilat, dan polipropilen glikol diakrilat, sedangkan monomer vinil eter yang dipakai adalah trietilen glikol divinil eter, 1,4 - sikloheksan dimetanol divinil eter, dan butandiol monovinil eter.

## BAHAN DAN METODE

**Bahan.** Tiga macam oligomer akrilat yaitu epoksi akrilat, uretan akrilat, dan polipropilen glikol diakrilat masing-masing dengan kode EA-1020, U-200AX, dan APG-700 produksi Shin-Nakamura Chemical Co., Ltd. Jepang. Trietilen glikol divinil eter, 1,4-sikloheksan dimetanol divinil eter dan butandiol monovinil eter, masing-masing dengan nama komersial Rapi-Cure DVE-3, Rapi-Cure CHVE, dan Rapi-Cure HBVE serta buatan International Specialty Products, Amerika Serikat. Fotoinisiator kationik garam difenilliodonium heksafluorofosfat ( $\text{Ph}_2\text{IPF}_6$ ) diperoleh dari TRCRE - JAERI, Takasaki, Jepang. Struktur kimia, berat molekul, dan fungsionalitas oligomer akrilat dan monomer vinil eter disajikan pada Tabel 1. Sebagai substrat lapisan dipakai plat baja tebal 1 mm.

**Alat.** Sumber radiasi yang dipakai adalah mesin berkas elektron tipe Curetron Model EBC-300 buatan Nissin High Voltage, Jepang, mempunyai tegangan operasi 300 kV dan arus 100 mA. Analisis termogravimetri dilakukan menggunakan Themogravimetric Analyzer TGA-50 buatan Shimadzu.

**Percobaan.** Komposisi campuran oligomer dan monomer, kondisi iradiasi, dan pembuatan contoh uji lapisan telah diuraikan pada percobaan sebelumnya [4]. Dalam percobaan ini konsentrasi fotoinisiator yang dipakai sebesar 1 % berat dari campuran oligomer dan monomer.

Pengukuran dilakukan dalam atmosfer nitrogen pada kecepatan aliran 40 ml/menit, dengan kecepatan pemanasan 10 °C/menit, dan suhu pemanasan maksimum 500 °C. Berat contoh uji antara 4 - 6 mg. Data termogravimetri diperoleh dari gambar hubungan persen pengurangan berat versus suhu.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

**Suhu dekomposisi termal.** Analisis termogravimetri campuran polimer akrilat - vinil eter dilakukan untuk mengetahui pengaruh jenis oligomer akrilat, monomer vinil eter terhadap kestabilan termal lapisan yang diiradiasi pada dosis tertentu menggunakan radiasi berkas elektron. Pemilihan dosis tersebut didasarkan pada sifat fisik dan mekanik lapisan yang dihasilkan pada penelitian sebelumnya [4]. Menurut CHIANG dan CHIANG [5], suhu awal terjadinya dekomposisi termal  $T_0$  dan suhu pada pengurangan berat 10 % ( $T_{10}$ ) merupakan faktor

terpenting untuk mengetahui kestabilan termal suatu polimer. Suhu awal terjadinya dekomposisi termal terjadi pada keadaan dimana contoh uji mulai mengalami kehilangan berat secara drastis. Keadaan ini dapat diamati dari melengkungnya kurva (termogram) secara mendadak. Semakin tinggi nilai  $T_0$  dan  $T_{10}$ , semakin tinggi kestabilan termal polimer.

### Campuran Epoksi Akrilat dan Vinil Eter.

Gambar 1 menunjukkan dekomposisi termal campuran epoksi akrilat dan vinil eter. Suhu dekomposisi pada pengurangan berat 10 % ( $T_{10}$ ) campuran EA-1020 / DVE-3 yang diiradiasi pada dosis 20 kGy lebih tinggi dibanding campuran EA-1020 / HBVE yang diiradiasi pada dosis 60 kGy. Campuran tersebut dengan perbandingan 1:1 mempunyai  $T_{10}$  masing-masing 345,1 °C dan 337,2 °C, sedangkan nilai  $T_0$  adalah 385,9 °C dan 389,9 °C. Nilai  $T_0$  campuran EA-1020 / DVE-3 dengan perbandingan 1:1 dan 2:1 adalah 345,1 °C dan 371,4 °C, sedangkan untuk perbandingan yang sama dengan menggunakan monomer HBVE adalah 337,2 °C dan 345,0 °C. Dengan dosis lebih rendah yaitu 20 kGy, campuran epoksi akrilat dengan DVE-3 menghasilkan kestabilan lebih tinggi dibanding campuran dengan HBVE yang diiradiasi pada dosis 60 kGy. Monomer DVE-3 mempunyai derajat ketidakjenuhan 2 (difungsional) sedangkan derajat ketidakjenuhan HBVE adalah 1 (monofungsional). Semakin tinggi derajat ketidakjenuhan monomer, semakin tinggi densitas ikatan silangnya. Semakin tinggi densitas ikatan silang, semakin tinggi kestabilan termalnya [6].

Reaksi pembentukan kopolimer akrilat - vinil eter lebih banyak terjadi pada perbandingan 2:1 dibanding campuran dengan perbandingan 1:1. Reaksi antara senyawa akrilat (poliester akrilat) dan monomer DVE-3 dimonitor oleh DECKER dan DECKER [7] dalam penelitiannya menggunakan Spektroskopi RTIR (Real Time Infra Red). Ikatan rangkap hilang pada bilangan gelombang 1628  $\text{cm}^{-1}$  dan gugus akrilat hilang pada bilangan gelombang 1415  $\text{cm}^{-1}$ . Data tersebut memberi informasi bahwa sejak awal reaksi kopolimerisasi antara akrilat dan vinil eter sudah berlangsung, dan kemudian berhenti setelah konsentrasi akrilat dalam sistem sudah tinggal sedikit. Radikal akrilat lebih mudah bereaksi dengan ikatan rangkap akrilat, sedangkan radikal vinil eter hanya bereaksi dengan akrilat. CHAWLA dan JULIAN [8] mendapatkan bahwa dalam sistem campuran akrilat, maleat, dan eter, polimerisasi gugus akrilat berlangsung lebih cepat dibanding campuran maleat - vinil eter. Polimerisasi akrilat lebih dominan dibanding polimerisasi vinil eter.

Nilai  $T_0$  campuran EA-1020 dan DVE-3 pada perbandingan 1:1 dan 2:1 masing-masing adalah 385,9 °C dan 395,1 °C sedangkan campuran EA-1020 dan HBVE dengan perbandingan yang sama adalah 389,9 °C dan 399,3 °C.

Sifat dekomposisi termal lapisan campuran epoksi akrilat-vinil eter hasil "curing" melalui polimerisasi kationik terdapat pada Gambar 2. Pada dosis yang sama yaitu 20 kGy, campuran EA-1020 / DVE-3 dengan perbandingan 1:1 dan 2:1 nilai  $T_{10}$  masing-masing adalah 186,9 °C dan 192,3 °C, sedangkan campuran dengan HBVE nilainya 162,2 °C dan 175,5 °C. Hal ini menunjukkan bahwa campuran epoksi akrilat dengan DVE-3 menghasilkan

polimer yang lebih stabil dibanding campuran dengan HBVE. Nilai campuran kedua bahan tersebut berkisar antara 382 °C dan 389 °C. Termogram pada Gambar 1 dan 2 memberi informasi bahwa dengan adanya 1 harga  $T_0$  berarti ada 1 kopolimer dengan berat molekul tertentu yang merupakan komponen terbesar dalam lapisan tersebut. Polimerisasi radikal epoksi akrilat menghasilkan lapisan dengan kestabilan termal lebih tinggi dibanding polimerisasi kationik.

#### Campuran Uretan Akrilat - Vinil Eter.

Dekomposisi termal campuran uretan akrilat dan vinil eter hasil "curing" melalui polimerisasi radikal disajikan dalam Gambar 3. Adanya 2 puncak pada setiap termogram menunjukkan bahwa sistem campuran U-200AX dan monomer vinil eter menghasilkan 2 komponen polimer terbesar. Nilai suhu awal dekomposisi pertama ( $T_{01}$ ,  $T_{10}$ , dan suhu awal dekomposisi kedua ( $T_{02}$ ) campuran U-200AX/DVE-3 (1:1) yang diiradiasi pada dosis 80 kGy masing-masing adalah 268,8, 282,6, dan 363,8 °C, sedangkan campuran dengan perbandingan 2:1, nilainya masing-masing adalah 279,2, 293,8, dan 381,6 °C. Pada kondisi yang sama, lapisan U-200AX dan HBVE menghasilkan polimer dengan nilai ( $T_{01}$ ,  $T_{10}$ , dan ( $T_{02}$ ) yang lebih rendah dibanding campuran dengan DVE-3.

Gambar 4 menunjukkan dekomposisi termal campuran U-200AX dan vinil eter hasil reaksi polimerisasi kationik. Seperti halnya pada polimerisasi radikal, campuran U-200AX dan vinil eter menghasilkan 2 nilai  $T_0$ . Perbandingan campuran 2:1 menghasilkan polimer dengan kestabilan termal lebih tinggi dibanding campuran 1:1. Derajat ketidak jenuhan monomer DVE-3 yang lebih tinggi dibanding HBVE menghasilkan campuran dengan kestabilan termal yang lebih tinggi pula.

#### Campuran Polipropilen Glikol Diakrilat - Vinil Eter.

Dekomposisi termal campuran polipropilen glikol diakrilat (APG-700) dan vinil eter hasil reaksi polimerisasi radikal pada dosis 80 kGy disajikan pada Gambar 5. Baik DVE-3 maupun CHVE merupakan monomer difungsional sedangkan HBVE adalah monomer monofungsional. Nilai  $T_{10}$  dan  $T_0$  campuran APG-700 / DVE-3 dengan perbandingan 2:1 masing-masing adalah 322,0 dan 349,8 °C sedangkan campuran dengan CHVE pada perbandingan yang sama mempunyai  $T_{10}$  dan  $T_0$  masing-masing 228,4 dan 349,7 °C. Campuran APG-700 / HBVE mempunyai  $T_{10}$  dan  $T_0$  lebih rendah yaitu 219,9 dan 237,1 °C. Demikian juga hasil pengukuran dekomposisi termal campuran APG-700 dan vinil eter hasil polimerisasi kationik (Gambar 6). Kestabilan termal campuran hasil polimerisasi kationik lebih tinggi dibanding yang dihasilkan melalui polimerisasi radikal. Nilai  $T_{10}$  Campuran APG-700 dengan DVE-3, CHVE, dan HBVE masing-masing adalah 322,6, 334,2, dan 317,1 °C sedangkan nilai  $T_0$  masing-masing adalah 363,0, 367,2, dan 354,4 °C. Dengan menggunakan Spektroskopi RTIR, DOUGHERTY dan CRIVELLO [9], mempelajari fraksi-gel hasil "curing" polimerisasi kationik beberapa monomer vinil eter. Disimpulkan bahwa vinil eter dengan rantai utama hidrokarbon seperti CHVE dan HDDVE (heksandiol divinil eter) mempunyai reaktivitas yang tinggi karena tidak ada eter nukleofilik dalam monomer. Hal ini diketahui dari berkurangnya penyerapan IR pada bilangan

gelombang 1635  $\text{cm}^{-1}$  dengan cepat selama reaksi polimerisasi.

## KESIMPULAN

Hasil pengukuran analisis termogravimetri terhadap polimer campuran akrilat - vinil eter dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Kestabilan termal polimer campuran oligomer akrilat - monomer trietilen glikol divinil eter (DVE-3) atau 1,4-sikloheksan dimetanol divinil eter (CHVE) lebih tinggi dibanding campuran dengan butandiol monovinil eter (HBVE). Komposisi campuran akrilat - vinil eter menentukan kestabilan termal polimer yang dihasilkan.
2. Campuran epoksi akrilat - vinil eter dan polipropilen glikol diakrilat - vinil eter menghasilkan 1 macam kopolimer sedangkan campuran uretan akrilat - vinil eter menghasilkan 2 macam kopolimer yang merupakan komponen terbesar dari berbagai jenis polimer yang dihasilkan. Hal ini dapat diketahui dari jumlah suhu awal terjadinya dekomposisi termal.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pemerintah Jepang yang telah memberi dana penelitian melalui "Science and Technology Agency Exchange Program", dan seluruh staf di Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment, JAERI, Takasaki, yang telah membantu penelitian ini hingga selesai.

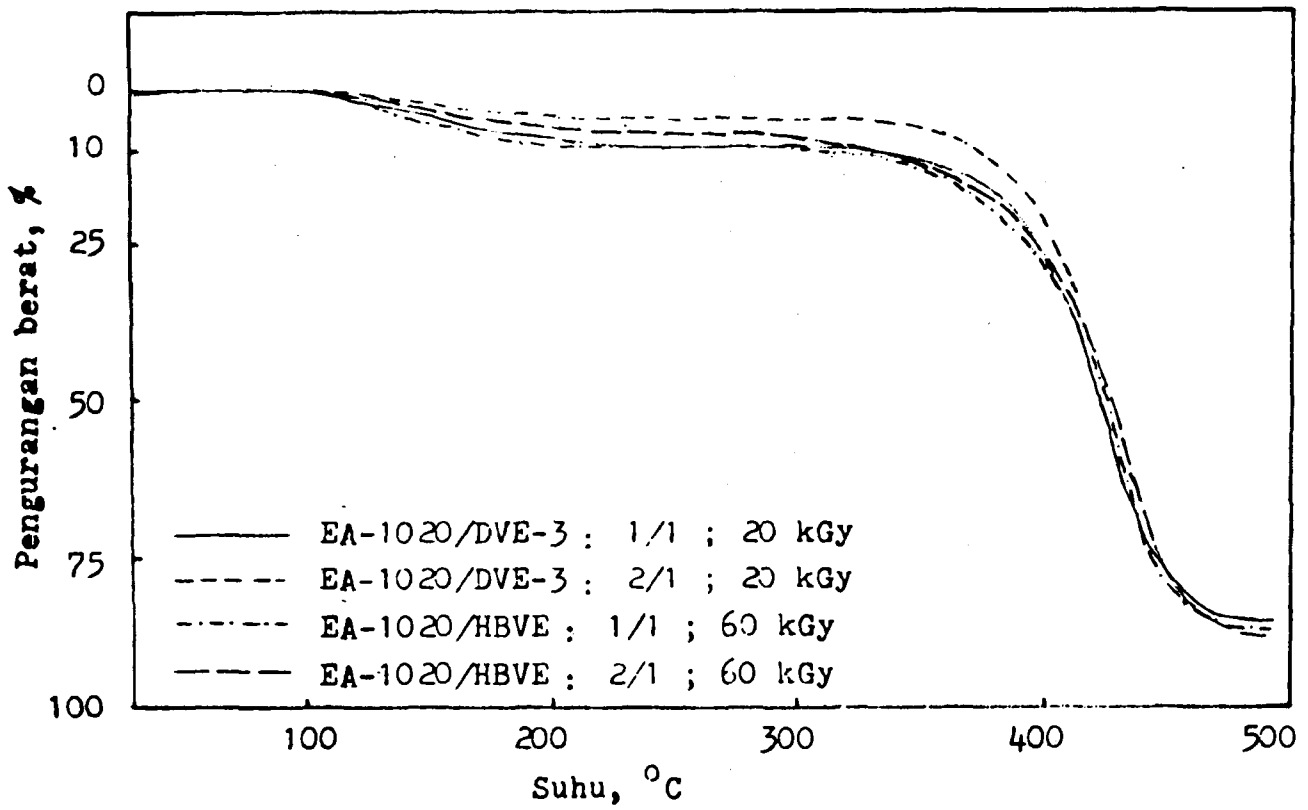
## DAFTAR PUSTAKA

1. GOLDEN, R., "Overview and trends in radiation curing technology", Proceedings RadTech Europe '89, Florence (1989) 11.
2. LAPIN, S. C., NOREN, G. K., and ZAHORA, E. P., "Non-acrylate UV curable wood coatings", Proceedings of RadTech North America '94, Vol. I Orlando (1994) 621.
3. ANSELL, J. M., "Safety assesment of a new reactive diluent : Triethylene glycol divinyl ether ", Proceedings of RadTech North America '90, Northbrook (1990).
4. DANU, S., dan SASAKI, T., "Sifat fisik dan mekanik campuran akrilat - vinil eter yang diiradiasi berkas elektron", Pertemuan Ilmiah Penelitian dan Pengembangan Aplikasi Isotop dan Radiasi 1996/1997, Jakarta (1997), belum diterbitkan.
5. DANU, S., SUNDARDI, F., TRIMULYADI, G., KICKY, L.T.K., ANUNARNI, A., dan DARSONO, "Radiation curing of commercial acrylate and polyester based compound for surface coating",

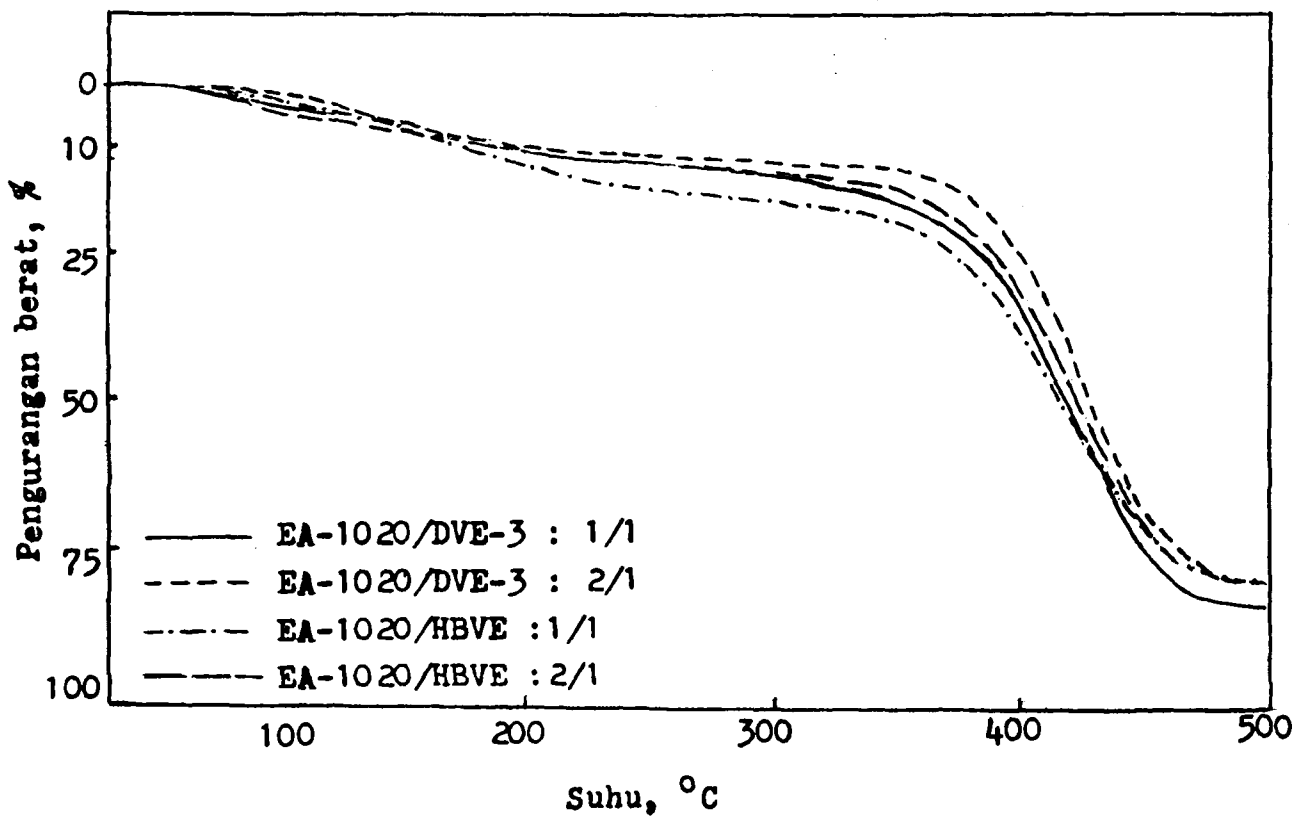
- Proceedings First Indonesia-JICA Polymer Symposium Cum - Workshop, Research and Development Centre for Applied Physics LIPI and Japan International Cooperation Agency, Bandung (1989) 160.
6. DANU, S., MARSONGKO, M., dan SUMARTI, M., "Karakterisasi film prapolimer akrilat Synocure 3131 hasil iradiasi berkas elektron", Proceedings Seminar Sains dan Teknologi Nuklir, Bandung (1994) 347.
  7. DANU, S., and MARSONGKO, M., "Effect of acrylate monomers on thermal stability of electron beam-cured polyester acrylate", Proceedings Second ASEAN - JAPAN Symposium on Polymers, Bandung (1992) 165.
  8. CHIANG, W. J., and CHIANG, W. C., Condensation polymerization of multifunctional monomers and properties of related polyester resins, *J. Of Appl. Pol. Sc.* 35 6 (1988) 1433.
  9. THALACKER, V.P., and BOETTCHER, T.E., Radiation curing for thermal stability, *Radiation Curing*, November (1985) 2.
  10. DECKER, C., and DECKER, D., "Kinetic and mechanistic study of the UV-curing of vinyl ether based systems", *Proceedings of RadTech North America '94*, Vol. I Orlando (1994) 602.
  11. CHAWLA, C. P., and JULIAN, J. M., "Photocopolymerization behaviour of vinyl ether, maleate, and acrylate systems", *Proceedings of RadTech North America '94*, Vol. I Orlando (1994) 617.
  12. DOUGHERTY, J. A., JURZAK, E. E., VARA, F. J., and BURLANT, W. J., "Vinyl ethers : Key monomers for radiation curable coatings", *Proceeding of RadTech Asia '93*, Tokyo (1993) 106.
-

Tabel 1. Struktur kimia, berat molekul, dan derajat ketidak jenuhan oligomer akrilat dan monomer vinil eter

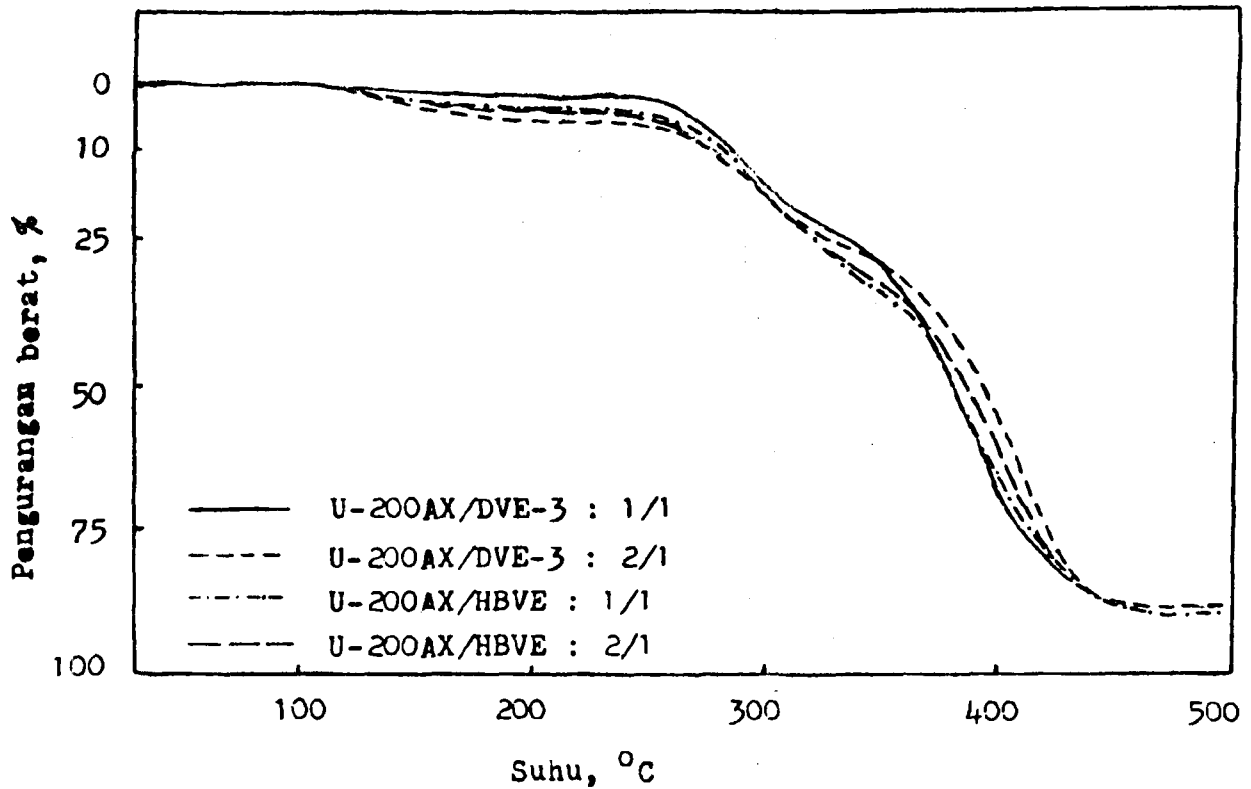
Bahan kimia	Struktur kimia	Berat molekul	Derajat ketidak jenuhan
Epoksi akrilat (EA-1020)	$\begin{array}{ccccccc} & \text{O} & & \text{OH} & \text{OH} & & \text{O} \\ &   & &   &    & &   \\ \text{CH}_2 = \text{CH} - \text{C} - \text{O} - \text{CH}_2 - \text{CH} - \text{R} - \text{CH} - \text{CH}_2 - \text{O} - \text{C} - \text{CH} = \text{CH}_2 \end{array}$ $\text{R} = \left[ \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ -\text{O}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}-\text{CH}_2 \\   \qquad \qquad   \\ \text{CH}_3 \qquad \qquad \text{OH} \end{array} \right]_n$	520	2
Uretan akrilat (U-200AX)	-	2720	2
Polipropilen glikol diakrilat (APG-700)	$\text{CH}_2 = \text{CHCOO} - (\text{CH}(\text{CH}_3)\text{CH}_2\text{O})_m - (\text{CH}_2\text{CHO})_n - \text{OCCH} = \text{CH}_2$ $m + n = 12$	808	2
Trietilen glikol divinil eter (DVE-3)	$\text{CH}_2 = \text{CH} - (\text{O} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2)_3 - \text{O} - \text{CH} = \text{CH}_2$	202	2
1,4- Sikloheksan dimetanol divinil eter (CHVE)	$\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{O} - \text{CH}_2 - \text{C}_6\text{H}_{10} - \text{CH}_2 - \text{O} - \text{CH} = \text{CH}_2$	166	2
Butandiol monovinil eter (HBVE)	$\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{O} - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{OH}$	126	1



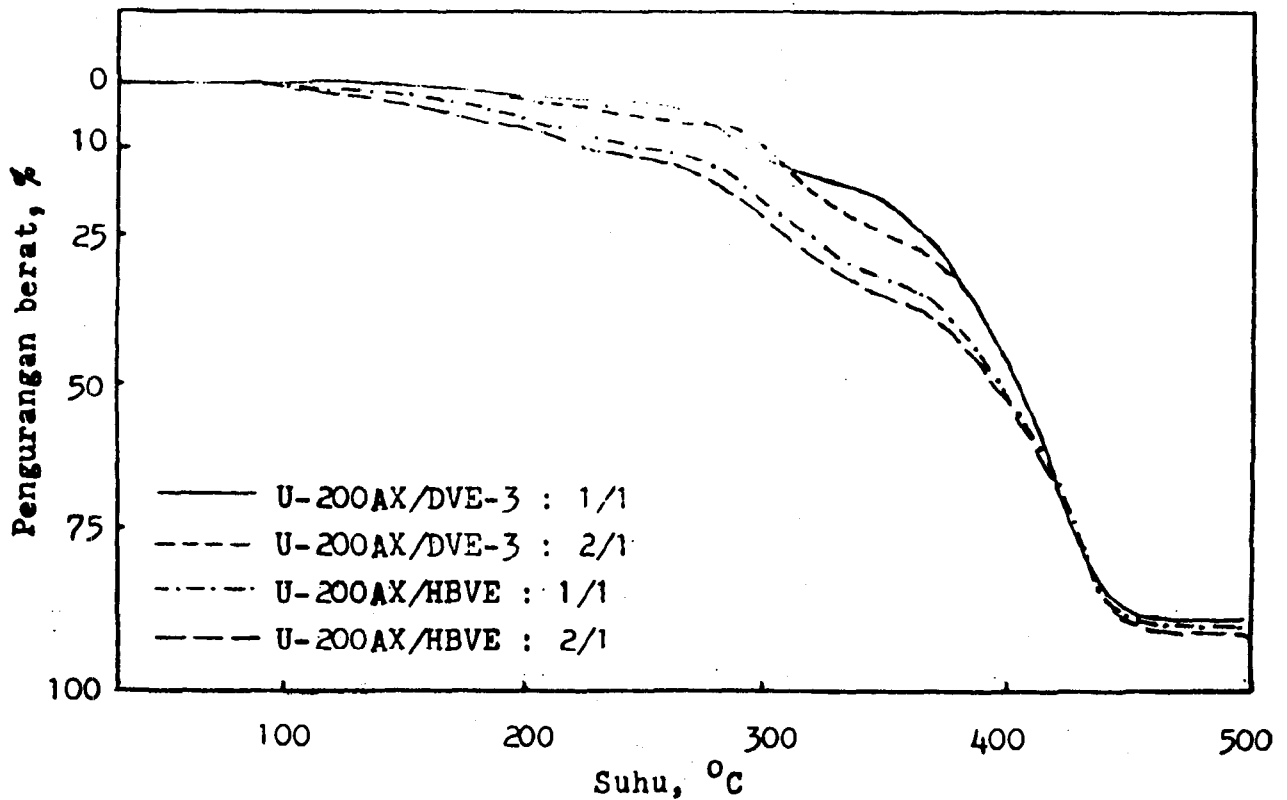
Gambar 1. Dekomposisi termal polimer campuran epoksi akrilat - vinil eter hasil reaksi polimerisasi radikal. Kecepatan pemanasan : 10 °C/menit. Kecepatan aliran N<sub>2</sub> : 40 ml/menit.



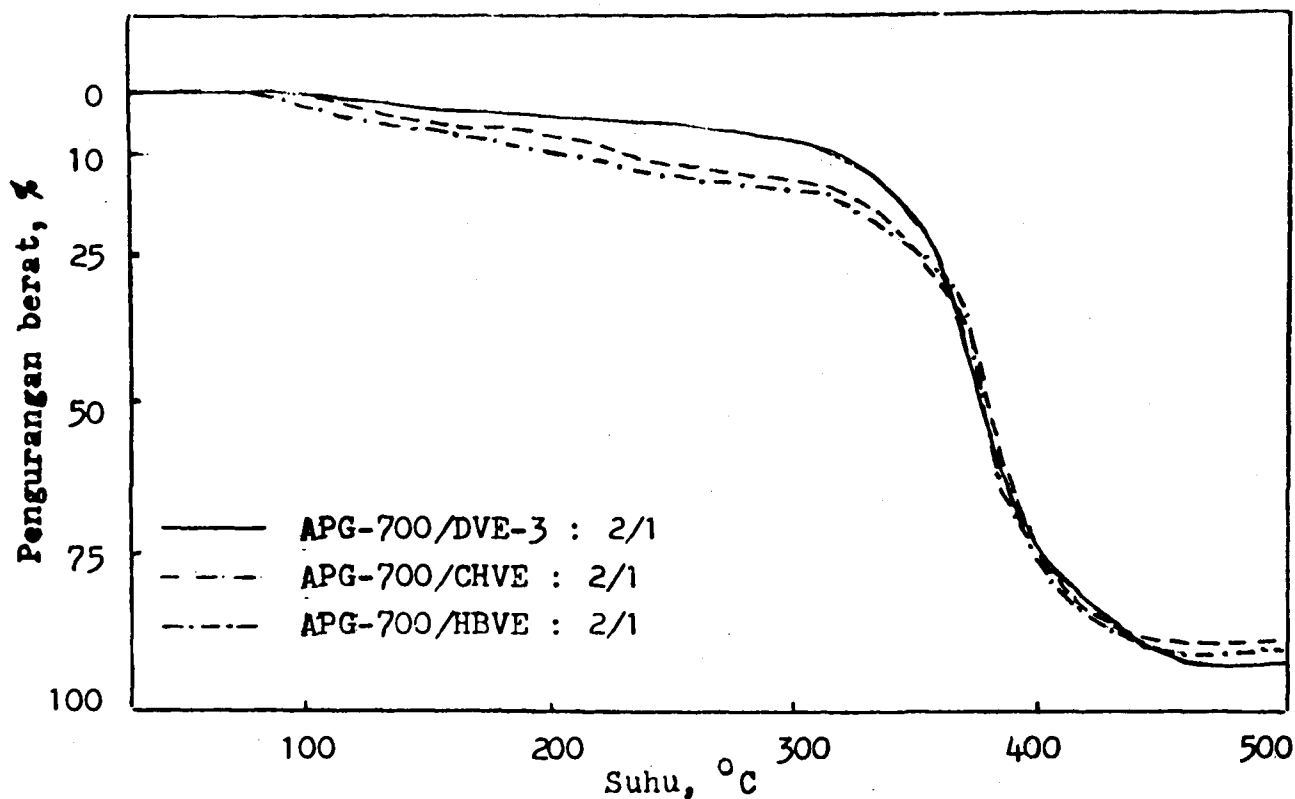
Gambar 2. Dekomposisi termal polimer campuran epoksi akrilat - vinil eter hasil reaksi polimerisasi kationik dengan konsentrasi fotoinisiator Ph<sub>2</sub>IPF<sub>6</sub> 1 %, pada dosis 20 kGy. Kecepatan pemanasan : 10 °C/menit. Kecepatan aliran N<sub>2</sub> : 40 ml/menit.



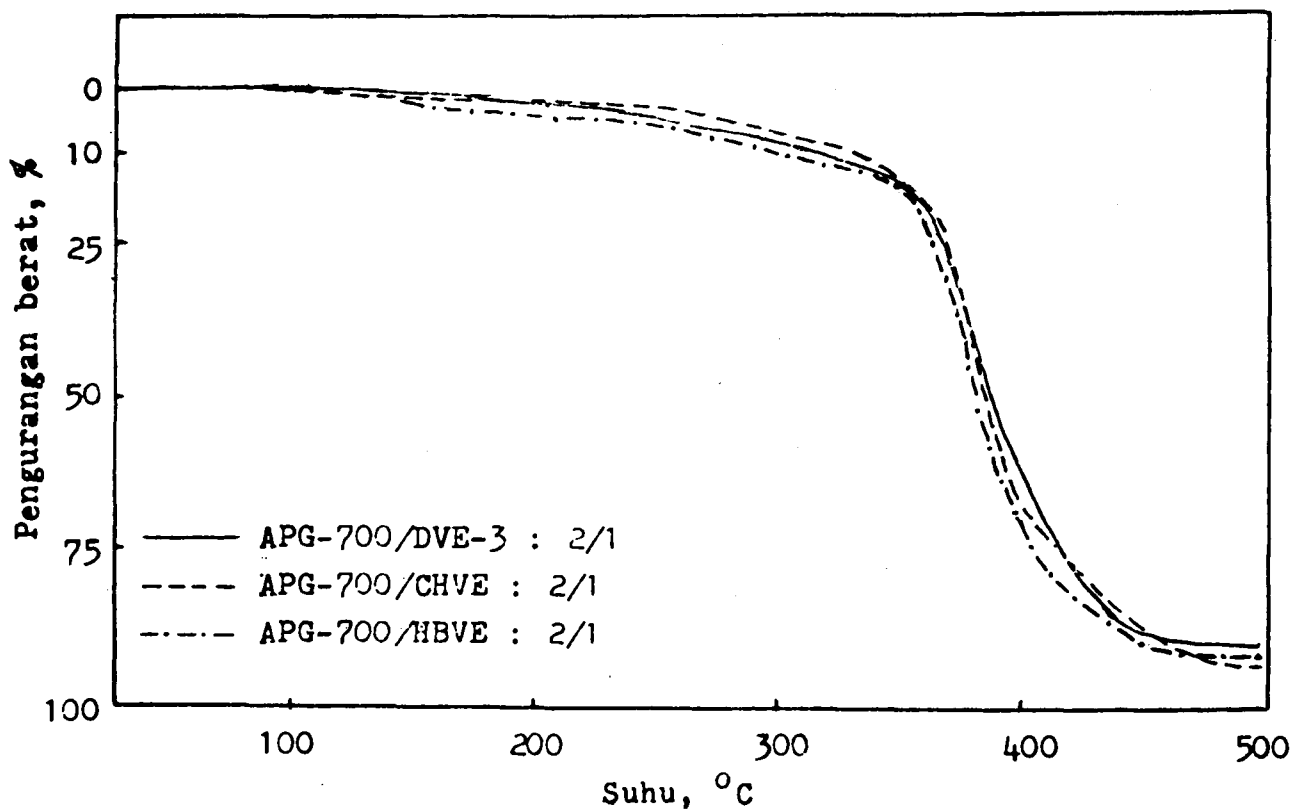
Gambar 3. Dekomposisi termal polimer campuran uretan akrilat - vinil eter hasil polimerisasi radikal pada dosis 80 kGy. Kecepatan pemanasan : 10 °C/menit. Kecepatan aliran N<sub>2</sub> : 40 ml/menit.



Gambar 4. Dekomposisi termal polimer campuran uretan akrilat - vinil eter hasil polimerisasi kationik dengan konsentrasi fotoinisiator Ph<sub>2</sub>IPF<sub>6</sub> 1 %, pada dosis 80 kGy. Kecepatan pemanasan : 10 °C/menit. Kecepatan aliran N<sub>2</sub> : 40 ml/menit.



Gambar 5. Dekomposisi termal polimer campuran polipropilen glikol diakrilat - vinil eter hasil polimerisasi radikal pada dosis 80 kGy. Kecepatan pemanasan : 10 °C/menit. Kecepatan aliran N<sub>2</sub> : 40 ml/menit.



Gambar 6. Dekomposisi termal polimer campuran polipropilen glikol diakrilat - vinil eter dengan konsentrasi fotoinisiator Ph<sub>2</sub>IPF<sub>6</sub> 1 %, pada dosis 20 kGy. Kecepatan pemanasan : 10 °C/menit. Kecepatan aliran N<sub>2</sub> : 40 ml/menit.



## DISKUSI

### SUTARMAN

1. Apakah yang dimaksud dengan atmosfer nitrogen ?
2. Mengapa campuran tersebut harus ditambah  $\text{Ph}_2\text{IPF}_6$ , karena menurut pengetahuan saya fotoinisiator digunakan pada mesin ultraviolet ? Mohon penjelasan.

### SUGIARTO DANU

1. Atmosfer nitrogen maksudnya proses berlangsung dalam keadaan dilingkungi oleh gas nitrogen dengan jalan mengalirkan gas nitrogen, yaitu pada proses "curing" lapisan dan pada saat pengukuran kestabilan termal dengan TGA.
2. Fotoinisiator  $\text{Ph}_2\text{IPF}_6$  dipakai pada penelitian ini untuk membandingkan sifat termal lapisan hasil "curing" dengan mekanisme polimerisasi radikal dan polimerisasi kationik. Tanpa fotoinisiator, mekanisme melalui polimerisasi radikal, sedangkan mekanisme melalui polimerisasi kationik jika ditambah fotoinisiator. Fotoinisiator kationik dapat digunakan dengan radiasi berkas elektron karena menurunkan dosis yang diperlukan untuk "curing".

### MARGA UTAMA

1. Mengapa  $T_{10}$  yang dibandingkan, bukannya  $T_{50}$ . Apa dasar pemikirannya ? Mohon penjelasan.
2. Biasanya dengan mengetahui  $T_{50}$  akan dapat dihitung waktu paruh (setengah kehilangan berat). Apakah waktu kehilangan berat diteliti ?

### SUGIARTO DANU

1.  $T_{10}$  dan  $T_0$  dipelajari berdasarkan teori dari CHIANG dan CHIANG, pustaka (5).  $T_0$  suhu yang paling penting untuk menentukan kestabilan termal karena menunjukkan kestabilan termal kopolimer yang merupakan komponen terbesar dalam campuran tersebut.

2. Penelitian ini lebih menekankan pada kestabilan termal terhadap perubahan suhu. Dapat juga pengukuran dilakukan dengan kestabilan termal pada suhu konstan (pengukuran isothermal).

### RAHAYU Ch.

1. Apakah hasil penelitian Anda ini sudah diaplikasikan ke industri sebagai bahan pelapis permukaan ?
2. Desain penelitian yang sama, apakah bisa digunakan oligomer dan vinil eter produksi lokal, supaya lebih ekonomis ? Contohnya di Jepang.

### SUGIARTO DANU

1. Penelitian ini sudah diaplikasikan oleh beberapa industri kertas dan plastik, tetapi tidak terlalu banyak dan bahan pelapis ini lebih cocok untuk pelapisan bahan yang lentur (fleksibel).
2. Dengan desain penelitian yang sama, oligomer dan monomer vinil eter akan lebih ekonomis jika menggunakan produksi lokal, tetapi sepengetahuan kami belum ada produksi lokal.

### GATOT TRIMULYADI

Dari hasil penelitian Anda, jika akan diaplikasikan ke substrat apa yang terbaik, kayu, logam, atau kertas, atau dapat dipergunakan dengan baik untuk semua substrat ?

### SUGIARTO DANU

Senyawa vinil eter lebih tepat untuk bahan-bahan yang fleksibel, misalnya kulit, kertas, plastik, dll. Jika dicampur dengan akrilat senyawa vinil eter menghasilkan lapisan dengan sifat diantara sifat senyawa akrilat (keras, kuat, dan tahan terhadap bahan kimia) dan sifat vinil eter (ulet dan lentur). Salah satu sifat yang menonjol vinil eter adalah adesi yang baik terhadap logam karena kontraksi bahan tersebut relatif kecil dibanding senyawa akrilat.