

RISALAH PERTEMUAN ILMIAH
PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI

1996/1997

Jakarta, 18 - 19 Februari 1997

Perpustakaan Nasional : Katalog Dalam Terbitan (KDT)

PERTEMUAN ILMIAH PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN APLIKASI
ISOTOP DAN RADIASI (1996 : JAKARTA), Risalah pertemuan ilmiah penelitian
dan pengembangan aplikasi isotop dan radiasi, Jakarta, 18 - 19 Februari 1997
Penyunting, Muziah Maba, (et al) - Jakarta : Badan Tenaga Atom Nasional,
Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi

BUKU 1

**PROSES RADIASI DAN
GEOHIDROLOGI**

ISBN 979-92390-0-2 (no. jil. lengkap)
ISBN 979-92390-1-3 (jil. 1)
ISBN 979-92390-2-1 (jil. 2)
ISBN 979-92390-3-x (jil. 3)

1. Isotop - Kongres. I. Judul II. Maba, Muziah

241.388

**BADAN TENAGA ATOM NASIONAL
PUSAT APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI**

JL. CINERE PASAR JUMAT KOTAK POS 7002 JKSKL JAKARTA 12070; INDONESIA
TEL. 7690709 - KAWAT/CABLE: JUMATOM - TELEX 47113 CAIRCA IA FAX. 7691607

Penyunting : KPTP PAIR

- | | |
|-----------------------------------|-------------------------------|
| 1. Ir. Munsiah Maha | Ketua merangkap Anggota |
| 2. Ir. F. Sundardi | Wakil Ketua merangkap Anggota |
| 3. Dr. Ir. Moch. Ismachin | Anggota |
| 4. Ir. Elsje L. Sisworo, MS | Anggota |
| 5. Ir. Wandowo | Anggota |
| 6. Drs. Made Sumatra, MS | Anggota |
| 7. Dr. Ir. Mugiono | Anggota |
| 8. Dr. Yanti Sabarinah Soebiyanto | Anggota |
| 9. Dra. C. Hendratno | Anggota |

Perpustakaan Nasional : Katalog Dalam Terbitan (KDT)

PERTEMUAN ILMIAH PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI (1996 : JAKARTA), Risalah pertemuan ilmiah penelitian dan pengembangan aplikasi isotop dan radiasi, Jakarta, 18 - 19 Februari 1997 / Penyunting, Munsiah Maha (*et al.*) -- Jakarta : Badan Tenaga Atom Nasional, Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, 1997.
3 jil. ; 30 cm

Isi Jil. 1. Proses radiasi dan geohidrologi
2. Pertanian
3. Peternakan, Biologi, dan Kimia

ISBN 979-95390-0-5 (no. jil. lengkap)
ISBN 979-95390-1-3 (jil. 1)
ISBN 979-95390-2-1 (jil. 2)
ISBN 979-95390-3-x (jil. 3)

1. Isotop - Kongres I. Judul II. Maha, Munsiah

541.388

Alamat : Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi
Jl. Cinere Pasar Jumat
Kotak Pos 7002 JKSKL
Jakarta 12070

PENGANTAR

Sebagaimana pertemuan ilmiah sebelumnya, Pertemuan Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi (APISORA) ke-9 yang diselenggarakan oleh Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Atom Nasional pada tanggal 18 - 19 Februari 1997 bertujuan untuk menyebarkan informasi dan hasil penelitian yang berkaitan dengan aplikasi teknik nuklir dalam bidang Proses Radiasi, Geohidrologi, Pertanian, Peternakan, Biologi, dan Kimia. Dengan demikian, ilmu pengetahuan dan teknologi yang telah dikembangkan dalam bidang ini dapat diketahui dan dimanfaatkan oleh pihak-pihak terkait untuk kepentingan masyarakat pada umumnya.

Pertemuan ilmiah kali ini dihadiri oleh 148 orang peserta yang terdiri dari para ilmuwan, dan peneliti, serta wakil-wakil dari berbagai instansi pemerintah, BUMN, dan swasta.

Dalam pertemuan ilmiah ini dibahas dua makalah utama yang dibawakan oleh pejabat senior, yaitu tentang Peluang dan tantangan bioteknologi tanaman nasional menjelang abad 21, dan Upaya pengamanan bendungan dengan kemungkinan aplikasi teknologi isotop. Selanjutnya, dibahas sebanyak 65 makalah hasil penelitian yang dibagi dalam tiga kelompok dan dipresentasikan secara paralel.

Penerbitan risalah pertemuan ilmiah ini diharapkan dapat menambah sumber informasi dan ilmu pengetahuan yang berkaitan dengan teknik nuklir bagi pihak yang membutuhkan untuk menunjang keberhasilan pembangunan di masa mendatang.

Penyunting,

Pelapisan permukaan kayu meranti (<i>Parashorea Spp</i>) dengan resin uretan akrilat secara radiasi DARSONO, ŠUGIARTO DANU, dan ANIK SUNARNI	111
Problema dalam introduksi teknologi lateks alam vulkanisasi radiasi (LAVR) sebagai teknologi tepat guna untuk masyarakat golongan ekonomi lemah WIWIK SOFIARTI	117
Pengekangan obat dalam matriks hidrogel PVA-ko-NIPAAM hasil iradiasi ERIZAL, HASAN R., SILVIA S., dan RAHAYU C.	121
Sintesa etilen diamin tetra metil fosfanat sebagai ligan untuk radionuklida M. YANIS MUSDJA, SRI HASTINI, dan PUJI WIDAWATI	129
Pengaruh iradiasi gamma dan jenis pengemas pada mutu dan masa simpan bakpia dan dodol RINDY P. TANDINDARTO, dan ROSALINA SINAGA	137
Status teknologi isotop dalam bidang Industri, Hidrologi, dan Sedimentologi di Indonesia WADOWO	147
Metode ekstraksi gas karbon dioksida dari senyawa sulfat untuk pengukuran rasio isotop oksigen EVARISTA RISTIN P.I., ZAINAL ABIDIN, dan DJIONO	153
Studi komparasi kandungan isotop alam pada presipitasi meteorik untuk recharge air tanah di beberapa wilayah Indonesia DJIONO, ZAINAL ABIDIN, dan ALIP	157
Inventarisasi komposisi isotop alam air tanah di daerah karst Wonosari dan sekitarnya WIBAGYO, WADOWO, dan INDROJONO	163
Teknik radiopenurut untuk mempelajari karakteristik air tanah dangkal di PPTA Pasar Jumat SYAFALNI, SATRIO, INDROJONO, dan DARMAN	171
.....	175
.....	177
.....	179
.....	181
.....	183
.....	185
.....	187
.....	189
.....	191
.....	193
.....	195
.....	197
.....	199
.....	201

DAFTAR ISI

Pengantar i

Daftar Isi iii

Laporan Ketua Panitia Pertemuan Ilmiah v

Sambutan Direktur Jenderal Badan Tenaga Atom Nasional vii

MAKALAH UNDANGAN

Peluang dan tantangan bioteknologi tanaman Nasional menjelang abad 21
G.A. WATTIMENA 1

Upaya pengamanan bendungan dengan kemungkinan aplikasi teknologi isotop
A. HAFIED A. GANY 15

MAKALAH PESERTA

Status dan prospek Litbang proses radiasi di PAIR-BATAN
RAHAYUNINGSIH CHOSDU 19

Sifat fisik dan mekanik campuran akrilat-vinil eter yang diiradiasi berkas elektron
SUGIARTO DANU dan TAKASHI SASAKI 23

Kopolimerisasi tempel monomer N-butyl akrilat dan metil metakrilat pada kulit kras sapi dengan radiasi berkas elektron
KADARIJAH, MADE SUMARTI, MARGA UTAMA, dan DWI WAHINI 33

Pengaruh radiasi berkas elektron dan antioksidan terhadap sifat fisik film polietilen
ISNI MARLIJANTI, ANIK SUNARNI, MIRZAN T. RAZZAK, dan GATOT T.M.R. 39

Sifat fisik dan mekanik film kopolimer karet alam stirena iradiasi setelah didaur ulang
MARSONGKO dan MARGA UTAMA 45

Kadar sisa NBA dalam lateks karet alam vulkanisasi radiasi
HERWINARNI SOEKARNO 53

Studi pembuatan karet remah dari lateks alam iradiasi dan kopolimernya secara kimia
MARGA UTAMA, SITI BUNDARI, dan H. SOESARSONO WIJANDI 63

Pengaruh radiasi berkas elektron terhadap sifat fisika campuran LDPE-karet alam
SUDRADJAT ISKANDAR, FUMIO YOSHII, dan KEIZO MAKUUCHI 71

Evaluasi lateks alam iradiasi untuk produksi kondom skala pabrik
YANTI S. SABARINAH, MARGA UTAMA, dan SASTRAVIQAYA 85

Kemungkinan pemakaian kopolimer lateks karet alam stiren untuk sarung tangan listrik
MADE SUMARTI, MARGA UTAMA dan SRI SUSILAWATI 91

Pengaruh kadar monomer dan ekstender dalam kopolimerisasi lateks karet alam stirene terhadap keteguhan rekat kayu lapis tusam (*Pinus merkusit*)
ADI SANTOSO dan MARGA UTAMA 97

Pelapisan permukaan kayu jeungjing (*Paraserianthes falcaria* (L) Nielsen) menggunakan resin akrilat dengan radiasi ultra violet
GATOT SUHARIYONO, SUGIARTO DANU, DARSONO, DAN MONDJO 101

SIFAT FISIK DAN MEKANIK CAMPURAN AKRILAT-VINIL ETER YANG DIIRADIASI BERKAS ELEKTRON

Sugiarto Danu* dan Takashi Sasaki**

*Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN

**Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment, Takasaki, Jepang

ABSTRAK

SIFAT FISIK DAN MEKANIK CAMPURAN AKRILAT-VINIL ETER YANG DIIRADIASI BERKAS ELEKTRON. Sebelum suatu bahan pelapis diaplikasikan untuk pelapisan permukaan bahan, maka perlu diketahui sifat-sifatnya. Penelitian curing menggunakan radiasi berkas elektron telah dilakukan terhadap lapisan dari campuran oligomer akrilat dengan monomer vinil eter untuk menentukan sifat fisik dan mekaniknya. Oligomer akrilat yang dipakai dalam penelitian ini adalah epoksi akrilat, uretan akrilat dan polipropilen glikol diakrilat, sedangkan monomernya adalah trietilen glikol divinil eter dan butandiol divinil eter. Perbandingan berat akrilat : vinil eter adalah 1:1 dan 2:1. Iradiasi dilakukan pada dosis antara 10 dan 120 kGy dalam suasana nitrogen. Parameter yang diukur meliputi fraksi gel, kekerasan, tegangan putus dan perpanjangan putus. Hasil pengujian menunjukkan bahwa campuran epoksi akrilat : vinil eter dengan perbandingan 2:1 menghasilkan lapisan yang keras dan kuat, sedangkan uretan akrilat:vinil eter menghasilkan lapisan yang lunak dan lentur. Sifat campuran polipropilen glikol diakrilat - vinil eter lunak dan rapuh. Derajat polimerisasi campuran akrilat - vinil eter dengan perbandingan 2:1 lebih tinggi dibanding campuran 1:1. Reaktivitas campuran epoksi akrilat : vinil eter lebih tinggi dibanding campuran uretan akrilat atau polipropilen glikol diakrilat: vinil eter, ditunjukkan oleh hubungan antara fraksi gel dan dosis iradiasi.

ABSTRACT

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF ACRYLATE - VINYL ETHER IRRADIATED WITH ELECTRON BEAM. The properties of films should be determined before the coating materials can be used for surface coating purposes. An experiment on electron beam curing of acrylate oligomers and vinyl ether monomers mixture have been done to determine its physical and mechanical properties. Oligomers used were epoxy acrylate, urethane acrylate, and polypropylene glycol diacrylate, whereas the monomers used were triethylene glycol divinyl ether and butanediol monovinyl ether. The weight ratio of acrylate to vinyl ether were 1:1 and 2:1, respectively. Irradiation was conducted at the dose of 10 to 120 kGy in a nitrogen atmosphere. Parameters observed were gel fraction, hardness, tensile strength and elongation at break. The results showed that the epoxy acrylate - vinyl ether mixtures with the weight ratio of 2:1 resulting a hard and strong films, whereas urethane acrylate - vinyl ether resulting a soft and flexible films. The properties of polypropylene glycol - vinyl ether were soft and brittle. Degree of polymerization of acrylate - vinyl ether with the weight ratio of 2:1 was higher than 1:1. Reactivity of epoxy acrylate - vinyl ether was higher than the urethane acrylate or polypropylene glycol diacrylate - vinyl ether mixtures as indicated by the relationship between gel fraction and irradiation dose.

PENDAHULUAN

Sebagian besar bahan pelapis radiasi didasarkan pada molekul-molekul yang mengandung gugus fungsional akrilat, dan dapat membentuk ikatan silang oleh radiasi berkas elektron atau sinar ultra-violet (UV). Sistem yang terdiri dari oligomer akrilat dan monomer akrilat merupakan bahan pelapis radiasi yang paling banyak terdapat dalam perdagangan, karena kecepatan pengeringannya (*curing*) tinggi [1, 2]. Kelemahan monomer akrilat ialah sifatnya yang toksik, bau yang tajam, serta menyebabkan iritasi oleh sebab itu dipakai oligomernya. Salah satu monomer yang telah banyak dikembangkan sebagai diluen reaktif untuk bahan pelapis permukaan ialah monomer vinil eter. Ikatan rangkap vinil eter mengandung banyak elektron sehingga mudah

terpolimer dengan bantuan katalisator asam. Monomer vinil eter mempunyai kemampuan yang tinggi dalam menurunkan viskositas campuran, dan mempunyai iritasi dan toksisitas lebih rendah sehingga lebih aman jika dibandingkan monomer akrilat. Vinil eter dapat bereaksi dengan gugus maleat atau fumarat dari poliester tak jenuh melalui polimerisasi radikal bebas. Reaksi vinil eter dengan akrilat berlangsung melalui polimerisasi radikal, kationik, atau secara sistem hibrida yaitu apabila polimerisasi radikal dan kationik berlangsung bersamaan. Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mempelajari polimerisasi vinil eter dengan akrilat dan maleat baik secara polimerisasi kationik, radikal, atau hibrida, baik ditinjau dari segi mekanisme reaksi, aplikasi, maupun segi keamanan dan lingkungan [3, 4]. Menurut DOUGHERTY dan VARA [5], dengan pemilihan oligomer yang tepat, campuran oligomer akrilat-

vinil eter dapat mempunyai viskositas yang rendah sehingga mudah diaplikasikan, reaktif, dan menghasilkan sifat lapisan yang baik.

Tujuan penelitian ini ialah mempelajari sifat fisik dan mekanik lapisan hasil kopolimerisasi radikal antara oligomer akrilat dengan monomer vinil eter yang diiradiasi berkas elektron untuk bahan pelapis permukaan. Oligomer yang dipakai dalam penelitian ini ialah epoksi akrilat, uretan akrilat dan diakrilat, sedangkan monomer vinil eternya ialah trietilen glikol divinil eter dan butandiol monovinil eter. Parameter yang diukur meliputi fraksi gel, kekerasan, tegangan putus, dan perpanjangan putus.

BAHAN DAN METODE

Bahan. Oligomer epoksi akrilat (kode: EA-1020), uretan akrilat (kode: U-200AX) dan polipropilen glikol diakrilat (kode: APG-700), buatan Shin-Nakamura Chemical Co., Ltd. Jepang. Monomer vinil eter, yaitu trietilen glikol divinil eter dan butandiol monovinil eter masing-masing dengan nama komersial Rapi-Cure DVE-3 dan Rapi-cure HBVE buatan International Specialty Products, Amerika Serikat. Struktur kimia oligomer dan monomer terdapat pada Tabel 1. Sebagai substrat dipakai plat baja tebal 1 mm.

Alat. Mesin berkas elektron yang dipakai sebagai sumber radiasi adalah Curetron Model EBC-300 buatan Nissin High Voltage, Jepang. Alat ini mempunyai tegangan operasi dan arus maksimum masing-masing sebesar 300 kV dan 100 mA.

Percobaan. Prapolimer epoksi akrilat EA-1020 dan uretan akrilat U-200AX masing-masing dicampur DVE-3 atau HBVE dengan perbandingan berat 1:1 dan 2:1, sedangkan APG-700 dicampur DVE-3 atau HBVE dengan perbandingan 2:1. Campuran diaduk hingga homogen dan dibiarkan sampai gelembung yang terjadi hilang. Penentuan perbandingan ini didasarkan pertimbangan viskositas dan sifat lapisan yang dihasilkan pada saat percobaan pendahuluan. Selanjutnya, campuran dilapiskan pada plat baja berukuran 200 mm x 120 mm x 1 mm menggunakan silinder kaca untuk mendapatkan tebal lapisan sekitar 100 μ m. Iradiasi dilakukan dalam suasana nitrogen (konsentrasi $O_2 = 10$ ppm) pada tegangan operasi 300 kV dan arus 50 mA dengan variasi dosis dari 10 sampai 120 kGy, bergantung pada komposisi campuran. Pengukuran sifat lapisan hasil iradiasi meliputi fraksi-gel, kekerasan, tegangan putus, dan perpanjangan putus. Fraksi gel ditentukan dengan ekstraksi menggunakan aseton dalam ekstraktor soxhlet selama 16 jam. Kekerasan pensil ditentukan menggunakan pensil standar Mitsubishi-Uni dengan alat U-F Scratch Tester buatan Ueshima Seisakusho Ltd., dan beban yang dipakai 1000 gram, sesuai JIS K 5401 [6]. Tegangan putus dan perpanjangan putus diukur menggunakan Stograph Model R1 buatan Toyo Seiki Seisakusho Ltd., Jepang, menurut ASTM D 2370-68 [7]. Lebar contoh uji 5mm, ditarik pada jarak 2,5 cm dengan kecepatan 10 mm/menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Viskositas monomer vinil eter dan campuran prapolimer akrilat dengan monomer vinil eter terdapat pada Tabel 2. Prapolimer epoksi akrilat (EA-1020) dan uretan akrilat (U-200AX) mempunyai viskositas yang sangat tinggi yaitu lebih dari 10.000 cp, sedangkan polipropilen glikol diakrilat viskositasnya sangat rendah, yaitu hanya 71 cp. Viskositas monomer vinil eter DVE-3 dan HBVE sangat rendah, hanya 2,7 dan 5,4 cp. pada suhu 250 C. Penambahan DVE-3 atau HBVE menurunkan viskositas EA -1020 dan U-200AX secara drastis. Campuran EA-1020 dan DVE-3 dengan perbandingan berat 1:1 dan 2:1 mempunyai viskositas masing-masing 89 dan 618 cp. Demikian juga dengan penambahan HBVE. Bahan dengan viskositas ratusan centipoise memungkinkan menghasilkan lapisan yang cukup rata apabila diaplikasikan menggunakan pelapis tipe rol.

Dengan perbandingan berat yang sama, campuran U-200AX mempunyai viskositas lebih tinggi dibanding campuran EA-1020. Campuran U-200AX dengan DVE-3 atau HBVE dengan perbandingan berat 2:1 masih menghasilkan viskositas yang tinggi, yaitu masing-masing 2294 dan 1579 cp. Viskositas yang tinggi sulit untuk menghasilkan lapisan yang rata. Prapolimer polipropilen glikol diakrilat (APG-700) yang sebelum dicampur monomer vinil sudah mempunyai viskositas rendah (71 cp.), dengan penambahan monomer vinil eter, campuran mempunyai viskositas lebih rendah lagi. Viskositas campuran APG-700 dengan DVE-3 atau HBVE masing-masing adalah 59 dan 26 cp.

Derajat polimerisasi lapisan ditentukan dengan fraksi-gel. Kopolimerisasi yang terjadi antara prapolimer akrilat dengan vinil eter bergantung pada perbandingan kedua bahan tersebut dalam campuran. Dengan perbandingan 2:1 pembentukan kopolimer akrilat-vinil eter lebih banyak dibanding campuran dengan perbandingan 1:1. Percobaan DECKER dan DECKER [8] dalam memonitor reaksi prapolimer poliester akrilat dengan monomer vinil eter DVE-3 menggunakan Spektroskopi RTIR (Real Time Infra Red) dapat mengetahui hilangnya ikatan rangkap vinil eter pada bilangan gelombang 1628 cm^{-1} dan akrilat pada bilangan gelombang 1415 cm^{-1} . Hal ini menunjukkan bahwa reaksi kopolimerisasi antara vinil eter dengan akrilat berlangsung sejak permulaan, dan kemudian berhenti setelah konsentrasi akrilat sudah sangat berkurang dan menjadi rendah. Juga disebutkan bahwa radikal akrilat lebih reaktif untuk bereaksi dengan ikatan rangkap akrilat, sedangkan radikal vinil eter hanya bereaksi dengan akrilat. Dengan demikian polimerisasi akrilat berlangsung lebih cepat dan dominan dibanding polimerisasi vinil eter. Jika *curing* dilakukan dengan menggunakan sinar ultra-violet, maka produknya masih mengandung banyak ikatan rangkap vinil eter.

Dalam percobaan ini, *curing* radiasi campuran EA-1020, U-200AX atau APG-700 dengan monomer vinil eter pada perbandingan 2:1 memberikan fraksi gel lebih tinggi dibanding campuran 1:1 (Gambar 1, 2, dan 3). Sebagai contoh, fraksi gel campuran EA-1020 /DVE-3 dengan perbandingan 2:1 pada dosis iradiasi antara 10 dan

60 kGy adalah berkisar antara 93,2 dan 99,5 %, sedangkan apabila perbandingannya 1:1 pada dosis antara 20 dan 80 kGy berkisar antara 81,8 dan 87,0 %. Demikian juga pengaruh komposisi campuran U-200AX dengan vinil eter. Fraksi-gel campuran U-200AX - DVE-3 dengan perbandingan 1:1 dan 2:1 masing-masing berkisar 65,3 - 72,7 % dan 71,4 - 75,6 % pada dosis antara 60 dan 120 kGy. Fraksi-gel campuran APG-700 dengan DVE-3 atau HBVE masing-masing berkisar 80,3 - 90,3 % dan 85,1 - 89,5 % pada dosis antara 60 dan 120 kGy. Kenaikan dosis meningkatkan polimerisasi yang ditunjukkan oleh kenaikan fraksi-gel.

Peningkatan fraksi gel terhadap dosis tidak meningkatkan kekerasan (Tabel 3). Perbedaan kekerasan yang kecil, tidak dapat diketahui karena besarnya perbedaan nilai kuantitatif antara 2 tingkatan kekerasan pensil yang berurutan. Kekerasan campuran EA-1020 - DVE-3 dengan perbandingan 1:1 dan 2:1 masing-masing adalah F dan 2H, sedangkan untuk perbandingan yang sama dengan menggunakan HBVE adalah F dan antara HB - H. Apabila dibandingkan, dengan dosis yang sama campuran dengan DVE-3 menghasilkan kekerasan lebih tinggi dibanding campuran dengan HBVE. Derajat ketidakjenuhan monomer DVE-3 adalah 2 (difungsional) sedangkan HBVE adalah 1 (monofungsional). Semakin tinggi derajat ketidakjenuhan monomer, semakin tinggi tingkat polimerisasi dan densitas ikatan silangnya. Tingginya densitas ikatan silang meningkatkan kekerasan lapisan.

Kopolimerisasi radikal antara akrilat dan vinil eter dipengaruhi oleh komposisi campuran. Menurut SHAIKHUTDINOV dan ZHUBANOV yang dikutip oleh SNYDER dan GREEN [9], pada tahap awal, polimer yang terbentuk akan didominasi oleh pembentukan homopolimer akrilat. Pada tahap selanjutnya jumlah oligomer akrilat semakin berkurang sehingga reaksi kopolimerisasi antara akrilat dengan vinil eter lebih dominan. Dengan demikian lapisan yang terjadi mengandung homopolimer akrilat yang sifatnya keras dan kopolimer akrilat-vinil eter yang sifatnya lunak. Dalam sistem campuran akrilat, maleat, dan vinil eter, polimerisasi gugus akrilat berlangsung lebih cepat dibanding polimerisasi campuran maleat-vinil eter [10]. Homopolimerisasi maleat atau vinil eter lebih lambat dibanding homopolimerisasi akrilat.

Lapisan campuran epoksi akrilat-vinil eter dengan perbandingan 2:1 lebih keras jika dibandingkan dengan campuran 1:1 karena mengandung homopolimer akrilat lebih banyak. Campuran uretan akrilat U-200AX atau diakrilat APG-700 dengan vinil eter menghasilkan lapisan yang sangat lunak, yaitu 6 B. Oligomer uretan akrilat merupakan reaksi antara gugus isosianat dengan gugus hidroksil dari monomer akrilat. Reaksi diisiosianat dengan rantai glikol yang panjang dan fleksibel menghasilkan lapisan yang fleksibel. Pada umumnya, semakin fleksibel suatu lapisan, semakin lunak lapisan. Beberapa diol atau glikol tersebut misalnya polietilen glikol dan polipropilen glikol. Sifat kekerasan ini dipengaruhi oleh reaktivitas prapolimer yang sangat rendah sehingga nilai fraksi-gel relatif rendah walaupun dosis yang digunakan sudah tinggi, yaitu antara 60 dan 120 kGy. Epoksi akrilat mempunyai

gugus aromatis yang menstabilkan (karena faktor induksi) radikal alkil yang terbentuk, oleh sebab itu lebih reaktif dibanding uretan akrilat dan polipropilen glikol diakrilat.

Pengikatan silang antara molekul membentuk struktur jaringan dan menurunkan mobilitas polimer. Kenaikan jumlah ikatan antara rantai-rantai polimer menyebabkan rantai polimer menjadi tidak mudah bergerak satu terhadap yang lain, sehingga nilai tegangan putus meningkat [11]. Kurva-kurva pada Gambar 4 dan 5 menunjukkan adanya peningkatan tegangan putus karena kenaikan dosis iradiasi. Tegangan putus campuran EA-1020 - DVE-3 pada perbandingan 1:1 dan 2:1 masing-masing adalah 146 - 179 Kg/cm² dan 220 - 418 Kg/cm², sedangkan dengan perbandingan yang sama tegangan putus campuran EA-1020 - HBVE masing-masing adalah 328-390 Kg/cm² dan 312 - 410 Kg/cm². Campuran U-200AX dengan DVE-3 atau HBVE mempunyai tegangan putus yang sangat rendah, yaitu maksimum hanya 24 dan 15 Kg/cm². Tegangan putus campuran EA-1020 maupun U-200AX dengan vinil eter pada perbandingan 2:1 lebih tinggi dibanding campuran 1:1. Epoksi akrilat-vinil eter menghasilkan lapisan lebih keras dan kuat dibanding campuran uretan akrilat-vinil eter, sedangkan campuran APG-700 -vinil eter tidak dapat diukur tegangan putusnya karena sangat lunak dan rapuh.

Seperti halnya mekanisme kenaikan tegangan putus karena kenaikan dosis iradiasi, maka sebagai akibat rantai polimer yang tidak mudah bergerak satu terhadap yang lain menyebabkan perpanjangan putusnya turun. Perpanjangan putus lapisan EA-1020 - DVE-3 dengan perbandingan 1 : 1 dan 2 : 1 masing-masing adalah 4,6 - 6,4 % dan 5,6 - 8,4 % sedangkan dengan perbandingan yang sama campuran EA-1020 - HBVE mempunyai perpanjangan putus 4,3 - 6,0 % dan 4,4 - 5,5 % (Gambar 6). Campuran U-200AX - vinil eter mempunyai perpanjangan putus yang sangat tinggi seperti terlihat pada Gambar 7. U-200AX - DVE-3 dengan perbandingan 1:1 dan 2:1 mempunyai perpanjangan putus maksimum masing-masing 126 dan 103 %, sedangkan U-200AX - HBVE dengan perbandingan yang sama mempunyai perpanjangan putus maksimum 128 dan 136 %. Perpanjangan putus campuran U-200AX - vinil eter dengan perbandingan 1:1 cenderung naik pada kenaikan dosis iradiasi, sedangkan campuran dengan perbandingan 2:1 cenderung menurun. Campuran APG-700 dengan vinil eter tidak dapat diukur perpanjangan putusnya karena rapuh. Dari data tegangan putus dan perpanjangan putus dapat diketahui bahwa campuran epoksi akrilat - vinil eter mempunyai sifat kuat tetapi getas, sedangkan uretan akrilat - vinil eter mempunyai sifat lunak dan mulur.

Dengan memperhatikan sifat fisik dan mekanik tersebut, dosis optimum untuk campuran EA-1020 - DVE-3 dengan perbandingan 1:1 dan 2:1 masing-masing sekitar 20 dan 10 kGy, sedangkan campuran EA-1020/HBVE dosis optimumnya sekitar 40 dan 20 kGy. Campuran U-200AX atau APG-700 dengan monomer DVE-3 atau HBVE mempunyai sifat fisik dan mekanik yang sangat rendah dan memerlukan dosis yang cukup tinggi sehingga jika diaplikasikan untuk pelapisan permukaan suatu bahan tidak menghasilkan sifat yang baik dan efisien. Reaktivitas

(U-200AX dan APG-700 tidak mempunyai gugus aromatis yang dapat menstabilkan radikal alkil yang terbentuk sehingga tidak sereaktif EA-1020.

KESIMPULAN

1. Perbandingan akrilat-vinil eter menentukan sifat fisik dan mekanik lapisan. Campuran akrilat-vinil eter dengan perbandingan berat 2:1 menghasilkan sifat lapisan lebih baik dibanding campuran dengan perbandingan 1:1.
2. Lapisan hasil curing campuran epoksi akrilat-vinil eter mempunyai sifat keras dan kuat, campuran uretan akrilat-vinil eter bersifat lunak dan mulur, sedangkan campuran polipropilen glikol diakrilat-vinil eter lunak dan rapuh. Dengan sifat-sifat ini campuran uretan akrilat atau polipropilen glikol diakrilat-vinil eter tidak tepat jika dipakai sebagai bahan pelapis permukaan.
3. Dosis optimum campuran epoksi akrilat - DVE-3 dengan perbandingan 1:1 dan 2:1 masing-masing adalah sekitar 20 dan 10 kGy sedangkan dengan perbandingan yang sama, dosis optimum campuran epoksi akrilat - HBVE adalah sekitar 40 dan 20 kGy.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pemerintah Jepang yang telah membiayai penelitian ini 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.

PUSTAKA

1. ANONYMOUS, Save, Handling and Use of Ultra-Violet/Electron Beam (UV/EB) Curable Coatings, National Paint & Coating Association, Washington D.C (1980).
2. SENICH, G.A., and FLORIN, R.E., Radiation curing of coating, Rev. Macromol. Chem. Phys. **C 24 2** (1984) 239.

3. 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.
4. ANSELL, J. M., "Safety assesment of a new reactive diluent : Triethylene glycol divinyl ether", Proceedings of Radtech North America '90, Northbrook (1990)
5. DOUGHERTY, J.A., JURCZAK, E.E., VARA, F.J., and BURLANT, W.J., "Vinyl ethers : Key monomers for radiation curable coatings", Proceedings of RadTech Asia '93, Tokyo (1993) 106.
6. JIS, Testing Methods for organic coating, JIS K 5401 (1970) 72.
7. ASTM, American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, part 27, ASTM, Philadelphia (1982) 477.
8. DECKCER, 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.
9. SNYDER, J.R., and GREEN, G.D., "Radical copolymerization of acrylate/vinyl ether systems", Proceedings RadTech North America '92, Boston (1992) 703.
10. 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.
11. WALDRON, R. W., McRAE, H. F., and MADISON, J. D., The effect of various monomers on crosslinking efficiency, Radiation Curing, (1985) 9.

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

Bahan kimia	Struktur kimia	Berat molekul	Derajat ketidakjenuhan
Epoksi akrilat (EA-1020)	$\text{CH}_2=\text{CH}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{O}-\text{CH}_2-\text{CH}-\overset{\text{OH}}{\text{R}}-\text{CH}-\overset{\text{OH}}{\text{R}}-\text{CH}_2-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{CH}=\text{CH}_2$	520	2
	$\text{R} = \left[\text{-O-} \left(\text{C}_6\text{H}_4 \right) \text{-C} \left(\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H} \end{array} \right) \left(\text{C}_6\text{H}_4 \right) \text{-O-CH}_2\text{-CH} \left(\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H} \end{array} \right) \text{-CH}_2 \right]_n$		
Uretan akrilat (U-200AX)		2720	2
Polipropilen glikol diakrilat (APG-700)	$\text{CH}_2=\text{CHCOO} \left(\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2\text{O} \end{array} \right)_m \left(\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{CH}_2\text{O} \end{array} \right)_n \text{-OCCH}=\text{CH}_2$ <p style="text-align: center;">$m + n = 12$</p>	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
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

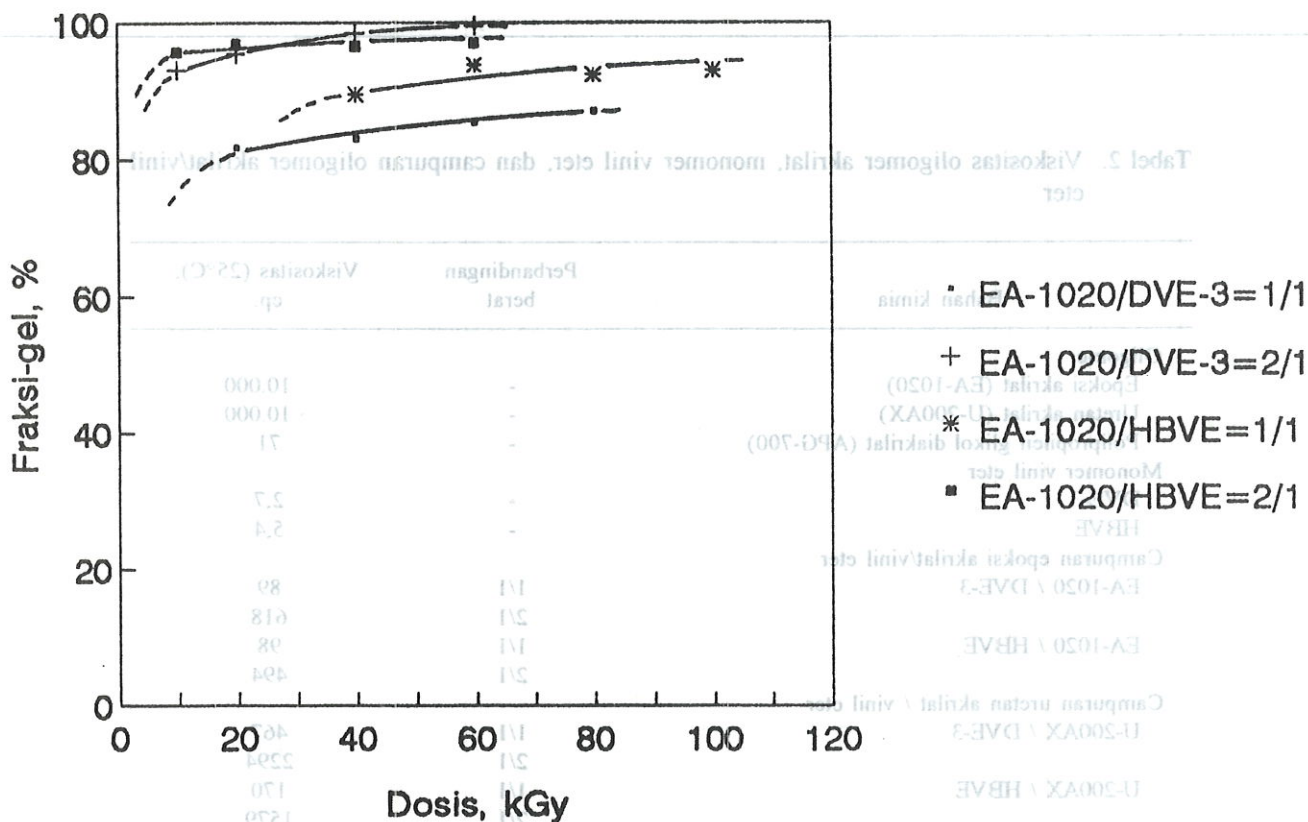
Tabel 2. Viskositas oligomer akrilat, monomer vinil eter, dan campuran oligomer akrilat/vinil eter

Bahan kimia	Perbandingan berat	Viskositas (25°C), cp.
Oligomer		
Epoksi akrilat (EA-1020)	-	> 10.000
Uretan akrilat (U-200AX)	-	> 10.000
Polipropilen glikol diakrilat (APG-700)	-	71
Monomer vinil eter		
DVE-3	-	2,7
HBVE	-	5,4
Campuran epoksi akrilat/vinil eter		
EA-1020 / DVE-3	1/1	89
EA-1020 / HBVE	2/1	618
EA-1020 / HBVE	1/1	98
EA-1020 / HBVE	2/1	494
Campuran uretan akrilat / vinil eter		
U-200AX / DVE-3	1/1	467
U-200AX / HBVE	2/1	2294
U-200AX / HBVE	1/1	170
U-200AX / HBVE	2/1	1579
Campuran polipropilen glikol diakrilat / vinil eter		
APG-700 / DVE-3	2/1	59
APG-700 / HBVE	2/1	26

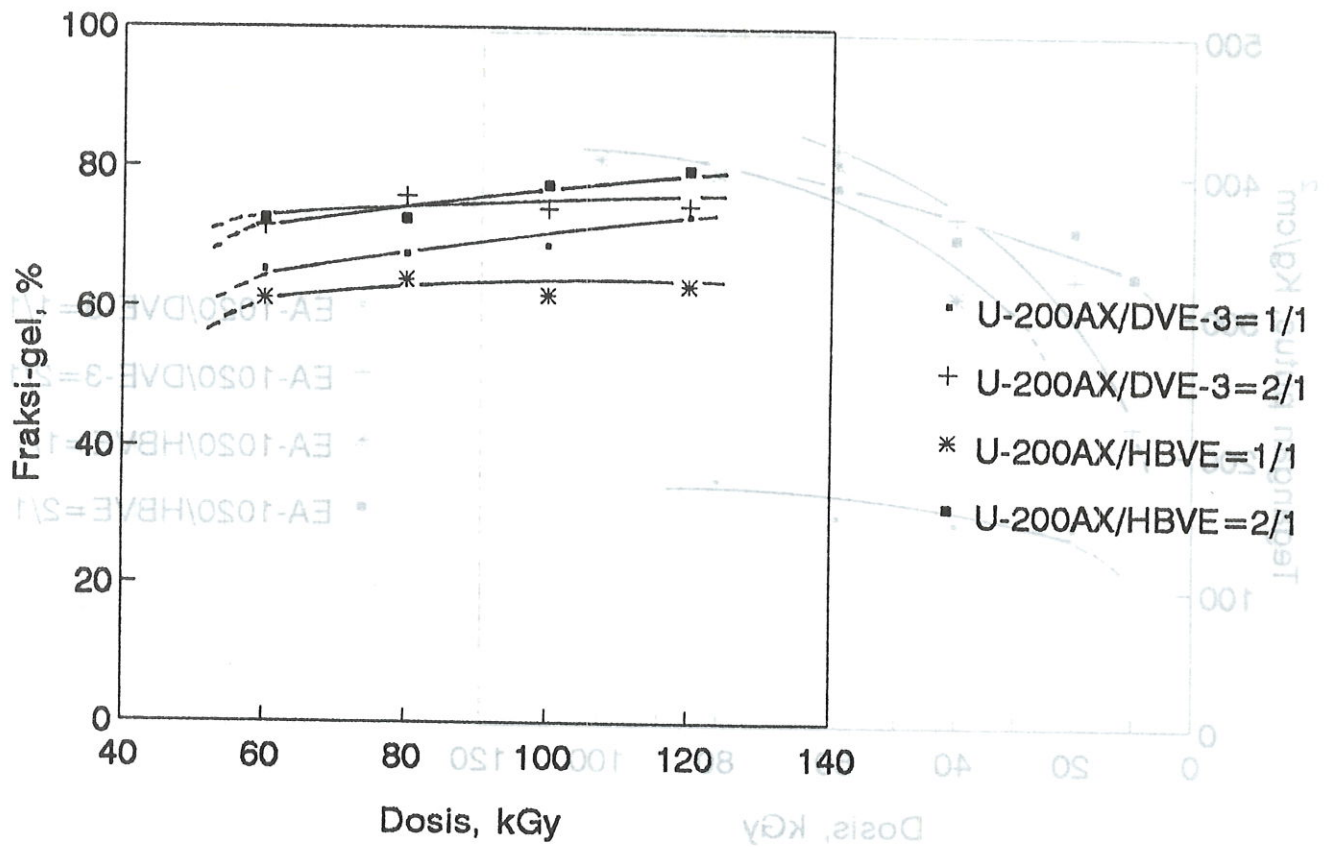
Tabel 3. Kekerasan pensil lapisan campuran prapolimer akrilat dan monomer vinil eter

Komponen	Perbandingan berat	Dosis, kGy						Bahan kimia	
		10	20	40	60	80	100	120	
EA-1020/DVE-3	1/1								Epoksi akrilat (EA-1020)
	2/1								
EA-1020/HBVE	1/1	-	-	F	F	F	F	F	
	2/1	HB	F	H	H	-	-	-	
U-200AX/DVE-3	1/1	-	-	-	6B	6B	6B	6B	Urekan akrilat (U-200AX)
	2/1	-	-	-	6B	6B	6B	6B	
U-200AX/HBVE	1/1	-	-	-	6B	6B	6B	6B	Urekan akrilat (U-200AX)
	2/1	-	-	-	6B	6B	6B	6B	
APG-700/DVE-3	2/1	-	-	-	6B	6B	6B	6B	Poliuretan glikol diskristal (APG-700)
APG-700/HBVE	2/1	-	-	-	6B	6B	6B	6B	

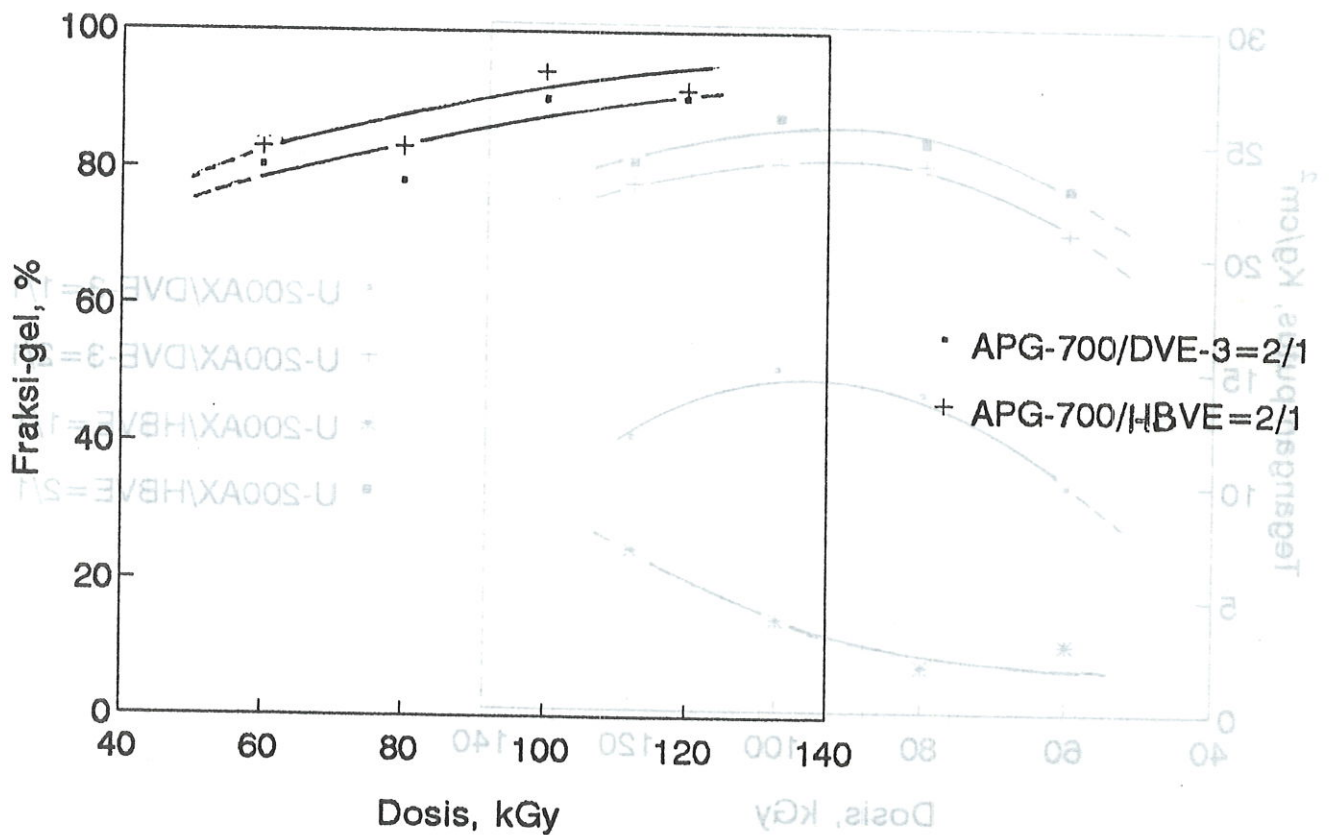
Urutan kekerasan pensil dari lunak ke keras : 6B-5B-4B > B-HB-F-H-2H > 6H



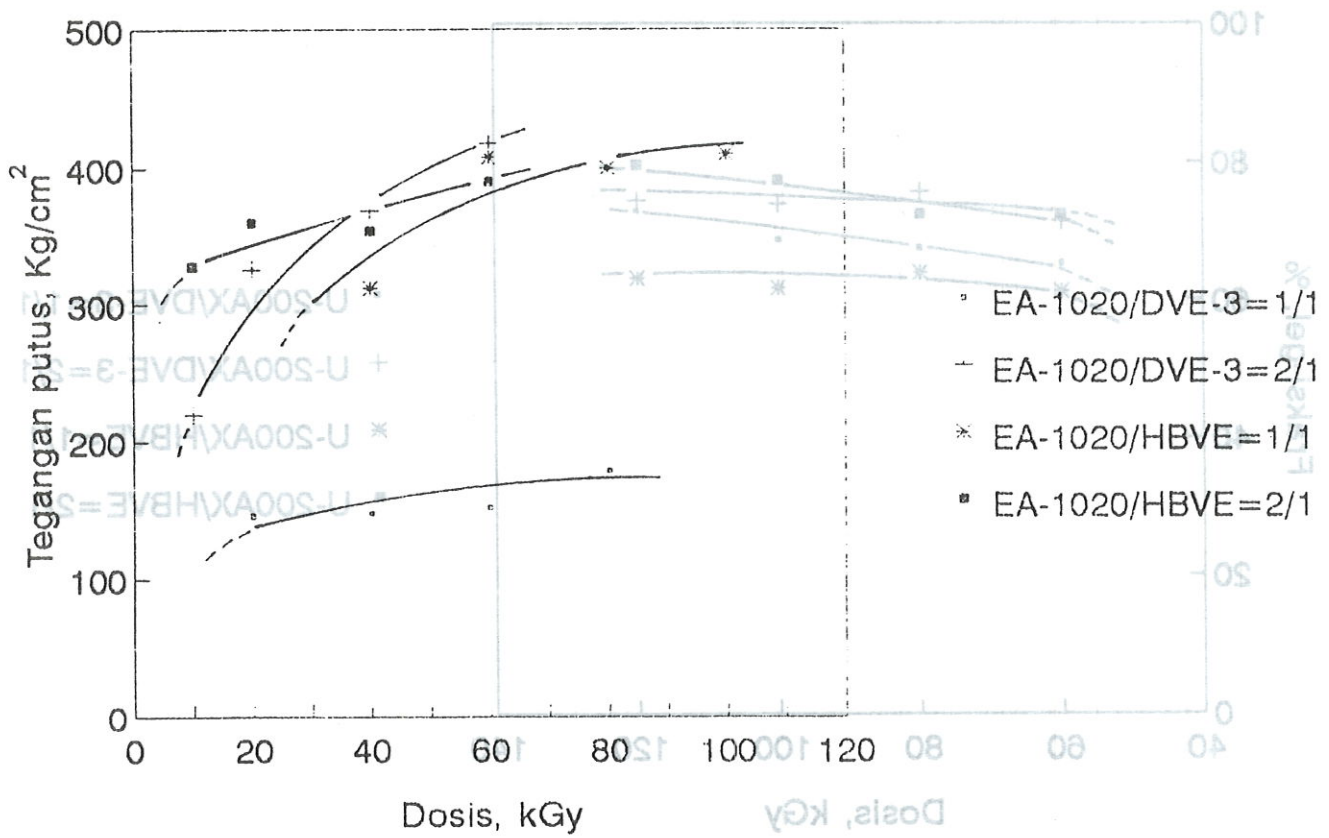
Gambar 1. Hubungan fraksi-gel dengan dosis campuran epoksi akrilat-vinil eter



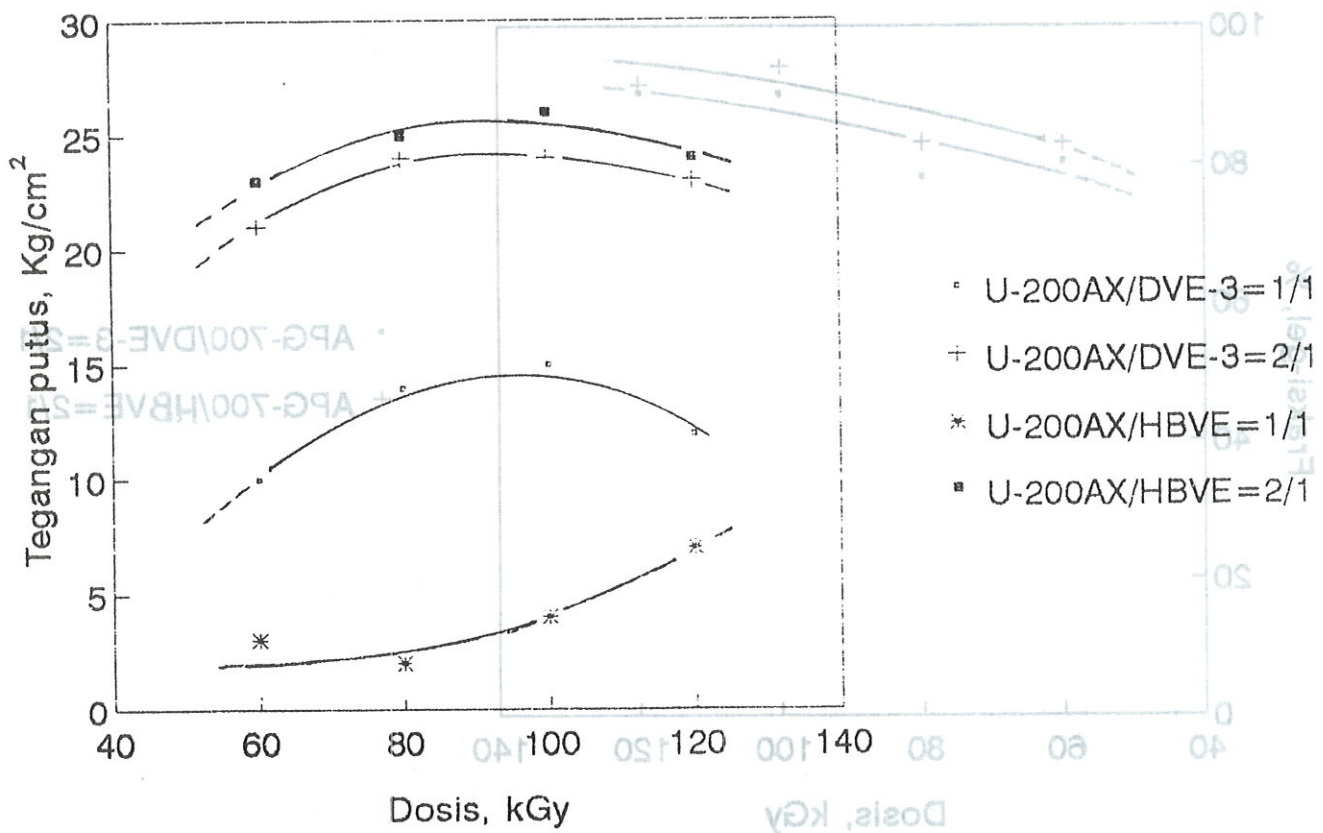
Gambar 2. Hubungan fraksi-gel dengan dosis iradiasi campuran uretan akrilat-vinil eter



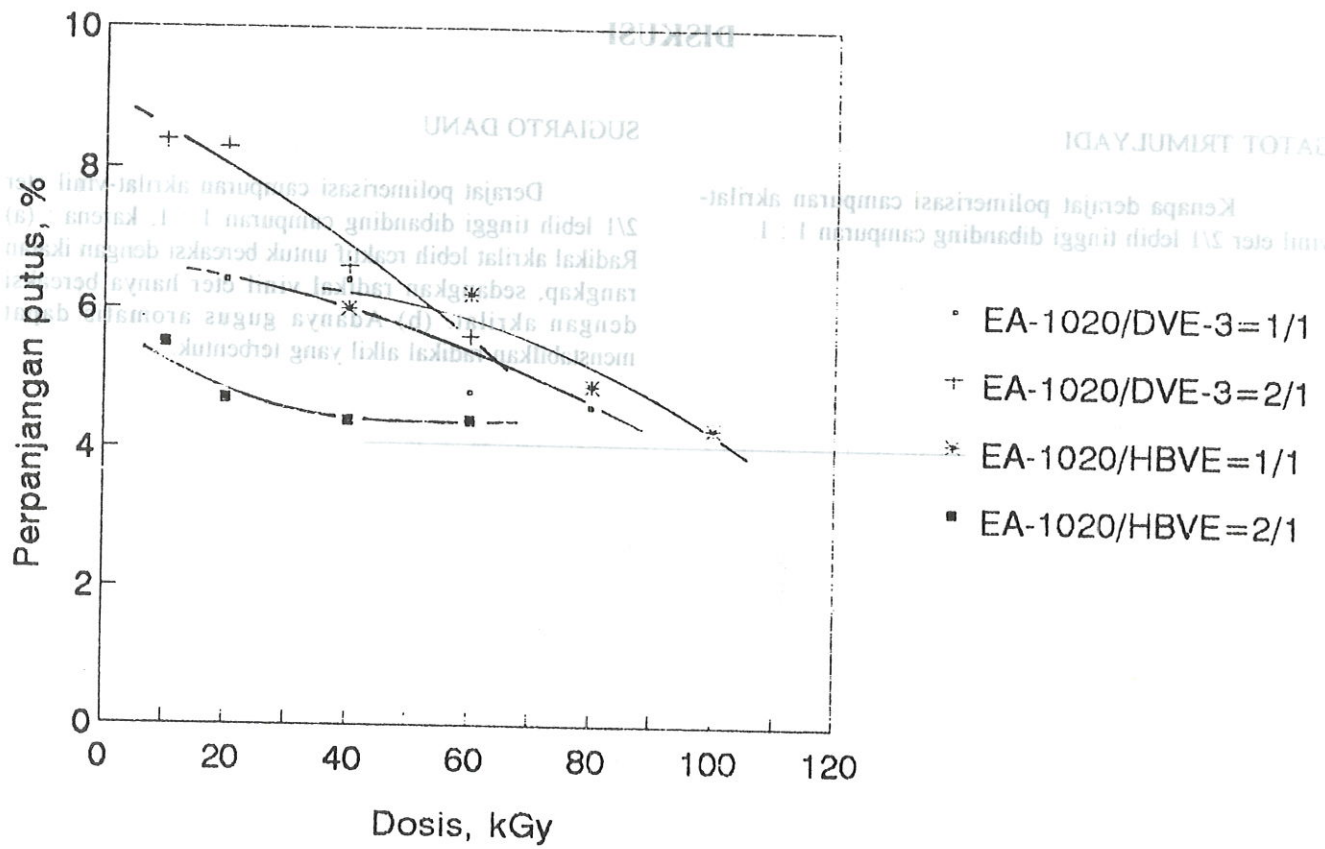
Gambar 3. Hubungan fraksi-gel dengan dosis iradiasi campuran APG-700 vinil eter



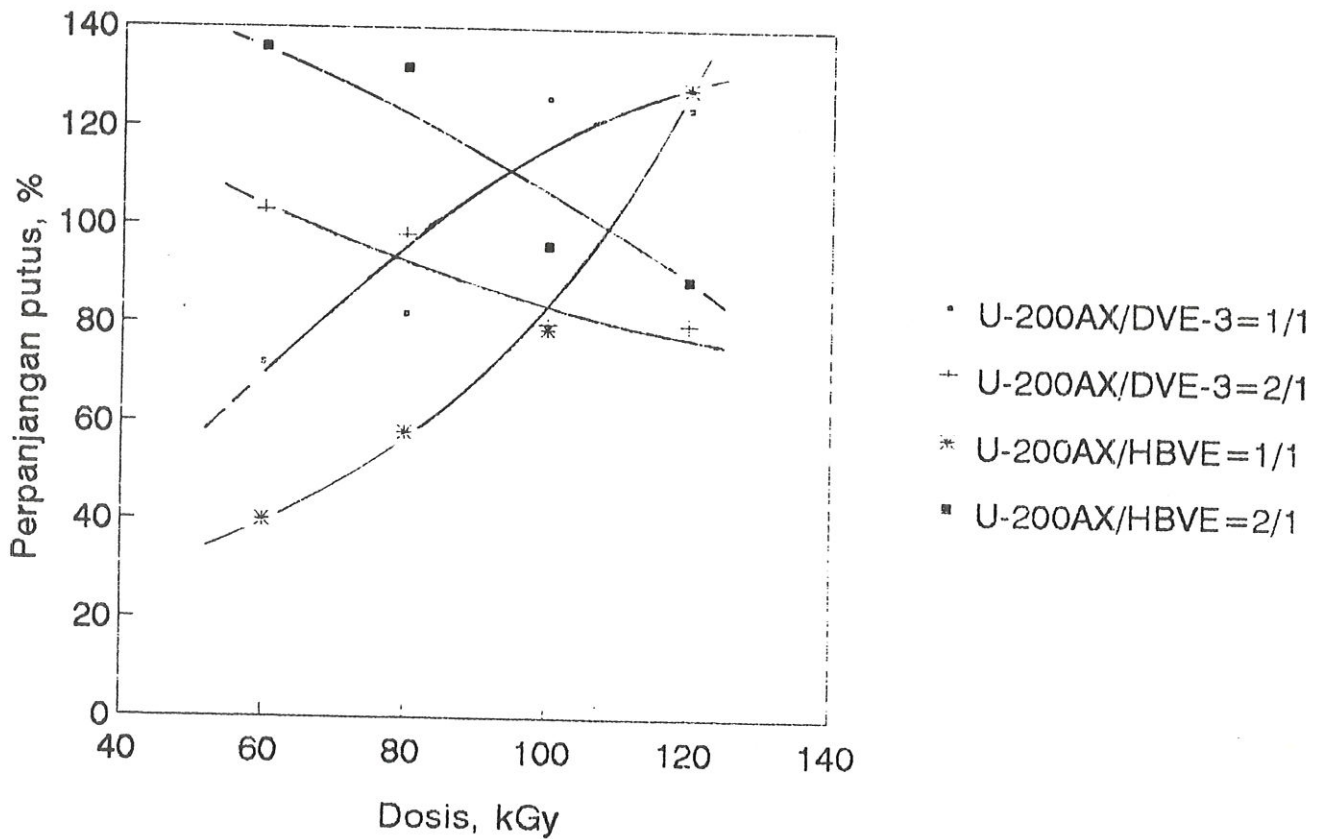
Gambar 4. Hubungan tegangan putus dengan dosis iradiasi campuran epoksi akrilat-vinil eter



Gambar 5. Hubungan tegangan putus dengan dosis iradiasi campuran uretan akrilat-vinil eter



Gambar 6. Hubungan perpanjangan putus dengan dosis iradiasi campuran epoksi akrilat-vinil eter



Gambar 7. Hubungan perpanjangan putus dengan dosis iradiasi campuran uretan akrilat-vinil eter

DISKUSI

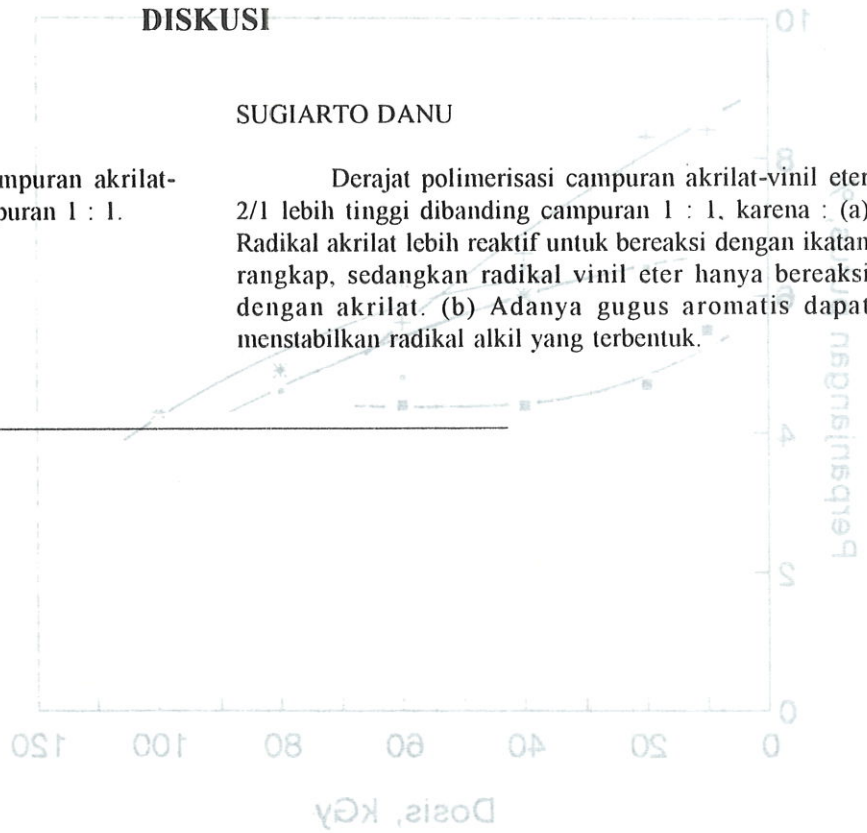
GATOT TRIMULYADI

Kenapa derajat polimerisasi campuran akrilat-
vinil eter 2/1 lebih tinggi dibanding campuran 1 : 1.

SUGIARTO DANU

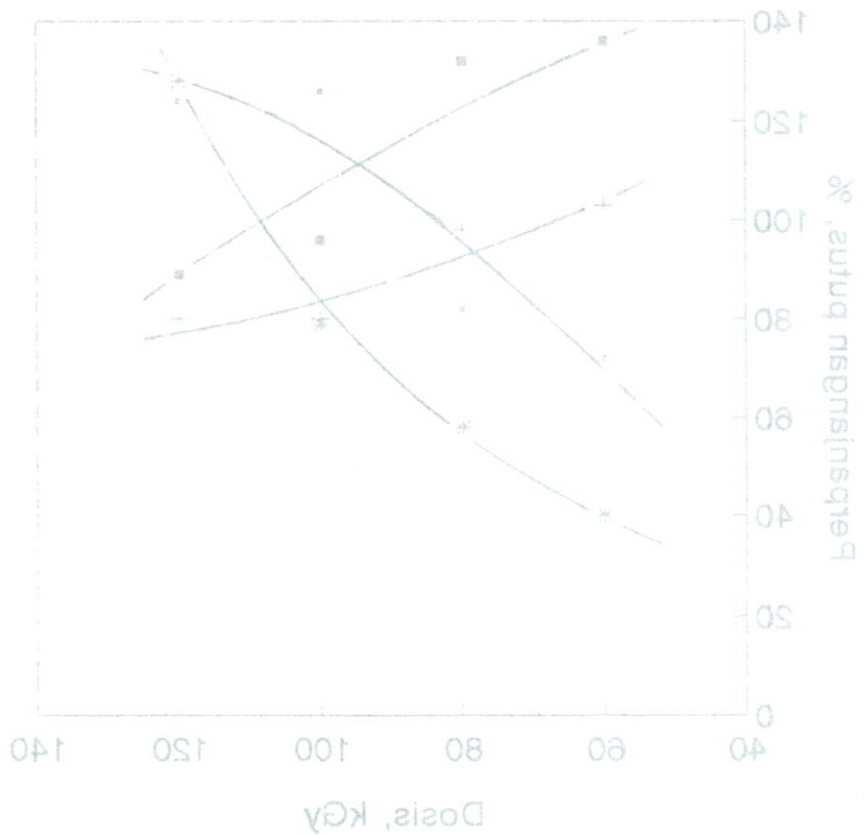
Derajat polimerisasi campuran akrilat-
vinil eter 2/1 lebih tinggi dibanding campuran 1 : 1, karena : (a) Radikal akrilat lebih reaktif untuk bereaksi dengan ikatan rangkap, sedangkan radikal vinil eter hanya bereaksi dengan akrilat. (b) Adanya gugus aromatis dapat menstabilkan radikal alkil yang terbentuk.

EA-1050\HBVE=1/1
EA-1050\HBVE=2/1
EA-1050\DVE-3=1/1
EA-1050\DVE-3=2/1



Gambar 6. Hubungan Derajat Polimerisasi dengan Dosis Radiasi Campuran Coklat-Vinil Eter

U-500A\HBVE=1/1
U-500A\HBVE=2/1
U-500A\DVE-3=1/1
U-500A\DVE-3=2/1



Gambar 7. Hubungan Derajat Polimerisasi dengan Dosis Radiasi Campuran Merah-Akrilat-Vinil Eter