

**RISALAH PERTEMUAN ILMIAH
APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI**

Jakarta, 9 - 10 Januari 1996

BUKU I

**PROSES RADIASI, INDUSTRI,
DAN LINGKUNGAN**

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

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

Penyunting : Buku I, II, dan III

- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| 1. Ir. Munsiah Maha | Ketua merangkap Anggota |
| 2. Ir. F. Sundardi, APU | Wakil Ketua merangkap Anggota |
| 3. Dra. Nazly Hilmy, Ph.D., APU | Anggota |
| 4. Dr. Ir. Moch. Ismachin, APU | Anggota |
| 5. Ir. Elsjé L. Sisworo, M.Si., APU | Anggota |
| 6. Ir. Wandowo | Anggota |
| 7. Dr. Made Sumatra | Anggota |
| 8. Dr. Ir. Mugiono | Anggota |
| 9. Dr. Yanti Sabarinah S. | Anggota |

Perpustakaan Nasional : Katalog Dalam Terbitan (KDT)

PERTEMUAN ILMIAH APLIKASI ISOTOP DAN RADIASI (1996 : JAKARTA)
Risalah pertemuan ilmiah aplikasi isotop dan radiasi, Jakarta, 9 - 10 Januari 1996/
Penyunting, Munsiah Maha.-- (et al.).-- Jakarta : Badan Tenaga Atom Nasional,
Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, 1996.
3 Jil.; 30 cm.

Isi : jil. 1. Proses radiasi, industri, dan lingkungan
 jil. 2. Pertanian
 jil. 3. Peternakan, biologi, dan kimia

ISBN 979-8500-11-3 (no. jil. lengkap)
ISBN 979-8500-12-1 (jil. 1)
ISBN 979-8500-13-X (jil. 2)
ISBN 979-8500-14-8 (jil. 3)

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

541.388

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

PENGANTAR

Sebagaimana pertemuan ilmiah sebelumnya, Pertemuan Ilmiah Aplikasi Isotop dan Radiasi (APISORA) ke-8 yang diselenggarakan oleh Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi Badan Tenaga Atom Nasional pada tanggal 8-9 Januari 1996 bertujuan untuk menyebarkan informasi dan hasil penelitian yang berkaitan dengan aplikasi teknik nuklir dalam bidang Proses Radiasi, Industri, Hidrologi, Sedimentologi, Kimia, Biologi, Lingkungan, Pertanian, dan Peternakan. 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 183 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 Program Riset Unggulan Strategis Nasional, dan Peranan Sains dan Teknologi Nuklir dalam Menunjang Pertumbuhan Industri dan Pengelolaan Lingkungan. Selanjutnya, dibahas sebanyak 77 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

PENDAHULUAN

Keberhasilan pertemuan ilmiah sebenarnya. Pertemuan Ilmiah Aplikasi Jatrofa dan Kajian (APJGRA) ke-8 yang diselenggarakan oleh Pusat Aplikasi Jatrofa dan Kajian Badan Tenaga Nuklir Nasional pada tanggal 8-9 Januari 1996 bertujuan untuk mengedukasikan informasi dan hasil penelitian yang berkaitan dengan aplikasi teknik nuklir dalam bidang Kajian Industri, Biologi, Sedimentologi, Kimia, Biologi, Lingkungan, Pertanian, dan Peternakan. Dengan demikian, ilmu pengetahuan dan teknologi yang telah dikembangkan dalam bidang ini dapat dimanfaatkan oleh pihak-pihak terkait untuk kepentingan masyarakat pada umumnya.

Pertemuan ilmiah kali ini diadakan oleh IAIN yang peserta yang terdiri dari para ilmuwan dan praktisi serta wakil-wakil dari berbagai instansi pemerintahan, BUMN, dan swasta.

Hal-hal pertemuan ilmiah ini dibahas dan makalah ilmiah yang dibawakan oleh peserta konferensi antara lain: Program Riset Unggulan Nasional, dan Program Sains dan Teknologi Nuklir dalam Menunjang Pertumbuhan Industri dan Pengelolaan Lingkungan. Selanjutnya, dibahas secara khusus 77 makalah hasil penelitian yang dibagi dalam tiga kelompok dan dipresentasikan secara paralel.

Keberhasilan realisasi 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.

Peningkatan

DAFTAR ISI

Pengantar	i
Daftar isi	iii
Laporan Ketua Panitia Pertemuan Ilmiah	ix
Sambutan Direktur Jenderal Badan Tenaga Atom Nasional	xi

MAKALAH UNDANGAN

Peranan sains dan teknologi nuklir dalam menunjang pertumbuhan industri dan pengelolaan lingkungan PROF. DR. AZHAR DJALOEIS	1
Program riset unggulan strategis nasional DR. MOHAMMAD RIDWAN	9

BUKU I : PROSES RADIASI, INDUSTRI, DAN LINGKUNGAN

Karakteristik kopolimer tempel LDPE-g-PDMAEA MIRZAN T. RAZZAK, A. WIDADI, DARSONO, dan SITI SOEDARINI	13
<u>Crosslinking</u> dan degradasi polietilen oksida dalam larutan air dengan radiasi sinar gamma ZAINUDDIN	21
Kopolimerisasi cangkok 4-vinil piridin pada serat polipropilen dengan metode peroksidasi secara iradiasi untuk penukar ion ITA YULITA, ENDANG ASIJATI W., MIRZAN T. RAZZAK, dan DARSONO	29
Efek iradiasi terhadap kompon polietilen densitas rendah ANIK SUNARNI, ISNI MARLIJANTI, MIRZAN T. RAZZAK, dan GATOT T.M.	35
Pengaruh <u>flame retardant</u> terhadap kecepatan nyala pada kompon polietilen ISNI MARLIJANTI, ANIK SUNARNI, MIRZAN T. RAZZAK, dan GATOT TRIMULYADI	41
Pengaruh berat molekul oligomer uretan akrilat dan monomer reaktif pada sifat perekat peka tekanan DARSONO, T. SASAKI, YANTI SABARINAH SOEBIANTO, dan MIRZAN T. RAZZAK ..	45
Analisis spektrum NMR proton emulsi karet alam metil metakrilat KRISNA LUMBANRAJA, KADARIJAH, SUDIRMAN, dan BUNJAMIN	53
Identifikasi gugus fungsi kopolimer karet alam-stiren iradiasi berbahan pemeka normal butil akrilat dengan FTIR dan NMR KADARIJAH, SRI PUJIASTUTI, dan MARGA UTAMA.....	61
Sifat kelistrikan film karet dari kopolimer lateks karet alam stiren hasil iradiasi MADE SUMARTI K., JUNE MELLAWATI, dan MARGA UTAMA.....	67

Analisis residu monomer dalam kopolimer KA-St dan KA-MMA dengan kromatografi gas. HERWINARNI, MARGA UTAMA, MADE SUMARTI, dan RISWIYANTO	73
Pengaruh struktur monomer pada hasil impregnasi dan polimerisasi radiasi kayu karet (<u>Hevea brasiliensis</u> Muell.Agr.) NURWATI HABIB, AGUS ISMANTO, dan MARGA UTAMA	81
Kualitas bambu betung (<i>Dendrocalamus asper</i>) yang diimpregnasi polimerisasi radiasi dengan stirena MARGA UTAMA, Y.S. HADI, I. WAHYUDI, F. FEBRIANTO, A. RUSLIADI, dan A. JUNAEDI	87
Sifat-sifat lapisan poliester akrilat hasil iradiasi dengan sinar ultraviolet SUGIARTO DANU, MARSONGKO, M. ARDIARTSI, dan J.K. JULIATI	93
Kopolimerisasi asam laktat dengan beta-propiolakton tanpa katalisator SUHARNI SADI, MASA HARU ASANO, dan MINORU KUMAKURA	101
Karakterisasi hidrogel poli(vinilalkohol) yang dikopolimerisasi radiasi dengan N-isopropil akrilamida ERIZAL, SUNARKO, BASRIL A, DARMAWAN D., R. CHOSDU, dan HASAN R.	109
Studi sifat kompatibilitas darah dan sifat kimia pembalut luka hidrogel poli vinil pirolidon (PVP) DARMAWAN DARWIS, RAHAYU CHOSDU, dan NAZLY HILMY	117
Pengaruh iradiasi gamma pada kualitas sediaan kosmetika bayi RAHAYUNINGSIH CHOSDU, DARMAWAN, dan ERIZAL.....	123
Studi air tanah di dataran aluvial Tangerang dengan pendekatan geohidrologi dan isotop lingkungan SIMON MANURUNG, NITA SUHARTINI, dan ALI ARMAN LUBIS	129
Studi air tanah dangkal PPTA Pasar Jumat dengan isotop alam BAROKAH ALIYANTA, SYAFALNI, DJIONO, dan WIBAGYO	139
Penentuan suhu reservoir panas bumi dengan metode geotermometer isotop ZAINAL ABIDIN, WANDOWO, INDROJONO, DJIONO, ALIP, dan EVARISTA	147
Penentuan rasio isotop ³⁴ S/ ³² S standar kerja J-1 dengan spektrometer massa EVARISTA RISTIN P.I. ZAINAL ABIDIN, dan DJIONO	155
Metode flow velocity untuk mengukur debit aliran dan menguji kurva distribusi waktu tinggal dengan model bejana berderet SUGIHARTO, INDROJONO, KUSHARTONO, PUGUH MARTYASA, DJOLI SUMBOGO, dan SLAMET SUTIKNO	161
Studi potensi mata air di Cimelati dengan metode hidrologi isotop SYAFALNI, SIMON MANURUNG, MURSANTO, DJIONO, dan TOMMY HUTABARAT.....	171
Pengaruh penyepuhan permukaan lumpur terhadap sifat fisik lumpur alam NITA SUHARTINI, SUWIRMA S., TARYONO, dan DARMAN	177
Pembuatan kaca bertanda ⁴⁶ Sc untuk studi pergerakan sedimen MADE SUMATRA, INDROJONO, NITA SUHARTINI, JUNE MELLAWATI, dan SAID ADAM	185

Estimasi pembentukan ozon di dalam ruang iradiasi mesin berkas elektron PUGUH MARTYASA, dan H SUNAGA	189
BUKU II : PERTANIAN	
Evaluasi daya hasil galur padi sawah OBS-1647/PsJ MUGIONO.....	13
Pemetaan gen Gametophyte (ga-2,ga-3) pada RFLP linkage map tanaman padi SOBRIZAL	19
Variasi somaklonal seleksi umur genjah dari galur mutan padi (<i>Oryza sativa</i> L.) varietas Sen- tani ITA DWIMAHYANI dan ISHAK	25
Ketahanan terhadap penyakit karat daun (<i>Phakopsora pachirizi</i> Syd.) dua galur mutan kedelai genjah no. 157/Psj dan no 325/Psj dibandingkan Varietas Lokon serta Tidar RIVAIE RATMA, dan ACHMAD NASROH KUSWADI	31
Seleksi <u>in vitro</u> untuk ketahanan asam dan aluminium pada tanaman kedelai DAMERIA HUTABARAT, dan RIVAIE RATMA	37
Keefektifan simbiotik sejumlah strain Bradyrhizobium pada galur mutan kedelai di lahan masam GANDANEGARA, S., HARSOYO, dan HENDRATNO	43
Korelasi beberapa sifat komponen hasil dengan berat polong isi kacang tanah KUMALA DEWI, MASRIZAL, dan M. ISMACHIN	49
Seleksi lanjutan pada populasi galur mutan tanaman gandum untuk perbaikan produksi biji SOERANTO H.	53
Pengaruh iradiasi gamma pada eksplan terhadap regenerasi tanaman pisang (<i>Musa sp.</i>) varietas Ambon Kuning ISHAK, BOB JAYA BUANA PUTRA, dan ISMIYATI S.	59
Peningkatan keragaman genetik tanaman nilam melalui kultur kalus dan iradiasi IKA MARISKA, HOBIR, ENDANG GATI, dan DELIAH SESWITA	65
Mikropropagasi nilam penampakan khimera hasil radiasi pada kalus DELIAH SESWITA, IKA MARISKA, dan ENDANG GATI	73
Enkapsulasi dan daya regenerasi tanaman nilam khimera pengaruh radiasi dan kalus ENDANG GATI, IKA MARISKA, dan DELIAH SESWITA	79
Pengaruh radiasi sinar gamma terhadap pertumbuhan dan produksi jahe SITTI FATIMAH SYAHID., IKA MARISKA, dan YADI RUSYADI	83
Penggunaan batang bawah klonal pada pembibitan durian dan mangga ISMIYATI SUTARTO, M. JAWAL A.S., ELLINA MANSYAH dan SOERTINI GANDANE- GARA	89

Serapan hara P oleh tanaman padi pada beberapa jenis tanah yang dipengaruhi pemberian pupuk hijau kacang panjang HARYANTO dan IDAWATI	95
Serapan hara dan pertumbuhan padi sawah sehubungan dengan status unsur P pada tanah Pusanegara IDAWATI, HARYANTO, dan HAVID RASJID.....	103
Penggunaan fosfat alam sebagai pupuk P pada budi daya padi sawah HAVID RASJID, ELSJE L. SISWORO, dan WIDJANG H. SISWORO	111
Serapan P tanaman padi yang diberi $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ dan pupuk kandang M.M. MITROSUHARDJO, dan AFDHAL FIRDAUS	117
Upaya peningkatan produksi kedelai dan jagung melalui aplikasi mulsa dan lembaran plastik penutup tanah AFDHAL FIRDAUS, dan M.M. MITROSUHARDJO	123
Tanggapan dua varietas kedelai terhadap cara pengolahan lahan dinyatakan dalam berbagai parameter nitrogen tanaman SRI HARTI SYAUKAT, JOHANNIS WEWAY, dan ELSJE L. SISWORO	129
Penggunaan lapisan Azolla pada padi sawah serta pengaruhnya terhadap efisiensi N urea JOHANNIS WEMAY, ELSJE L. SISWORO, HAVID RASJID, dan WIDJANG H. S.	137
Efisiensi serapan unsur N-urea bertanda ^{15}N dan proporsi fiksasi N setelah pemetikan kotiledon pada budi daya basah kedelai SHOLEH AVIVI, W.Q. MUGNISJAH, K. IDRIS, dan E.L. SISWORO	147
Kemungkinan penggunaan urea bertanda ^{15}N bagi penentuan efisiensi pupuk N pada tanaman kelapa sawit LUQMAN ERNINGPRADJA, M.M. SIAHAAN, Z. POELOENGAN, dan ELSJE L. SISWORO	153
Efisiensi transpirasi tanaman Chickpea THOMAS dan M.M. MITROSUHARDJO	161
Serapan radiofosfor ^{32}P dan radioseng ^{65}Zn pada tanaman cabe (<i>Capsium annum</i> L.) yang ditanam pada larutan hidroponik T. SUGIYANTO	167
Peranan jasad renik pelarut fosfat dalam meningkatkan keefisienan pupuk P dan pertumbuhan tebu M. EDI PREMONO, I. ANAS, G. SOEPARDI, R.S. HADIOETOMO, S. SAONO, dan W.H. SISWORO	177
Variasi ketahanan beberapa galur mutan kacang hijau <i>Vigna radiata</i> L. terhadap hama ulat grayak <i>Spodoptera litura</i> F. A. N. KUSWADI, R. SUMANGGONO, dan D. SUPRIYATNA	187

BUKU III: PETERNAKAN, BIOLOGI, DAN KIMIA

Pengaruh temperatur lingkungan pada konsumsi, pencernaan ransum, dan tingkat kebuntingan sapi peranakan ongole (PO), serta pengaruh pemberian mikroba terpilih pada tingkat kebuntingan Sapi Sumba Ongole (SO) M. WINUGROHO, Y. WIBISONO, dan M. SABRANI	13
Penampilan reproduksi domba Merino berlaktasi setelah kelahiran (<i>post partum</i>) yang diberi suplementasi urea dan protein langsung (<i>bypass</i>) T. TJIPTOSUMIRAT dan G.N. HINCH	19
Kemanfaatan hijauan leguminosa pohon dan protein <i>bypass</i> sebagai pakan ternak ruminansia SUHARYONO, BINTARA H.S., ACHMAD S., dan TITIN M.	25
Menggunakan ekstrak metanol daun enterolobium untuk meningkatkan fermentasi pakan dan massa bakteri dengan proses defaunasi protozoa rumen pada kambing R. BAHAUDIN, A. SYAMSI, T. MARYATI, N. LELANINGTYAS, dan S. MARUSIN	31
Pelet kotoran ayam iradiasi sebagai pakan tambahan ikan gurami (<i>Osphronemus gouramy</i>) HARSOJO, L. ANDINI S., SUWIRMA S., dan NAZLY HILMY	37
Analisis darah domba yang diimunisasi dengan metaserkaria iradiasi melawan infeksi cacing <i>Fasciola gigantica</i> BOKY JEANNE TUASIKAL, ENING WIEDOSARI, dan SRI WIDJAJANTI	45
Daya perlindungan metaserkaria <i>Fasciola gigantica</i> yang diiradiasi di dalam melawan infeksi cacing pada domba WIEDOSARI, E., S. WIJAYANTI, dan B.J. TUASIKAL	49
Penggunaan nisbah albumin/globulin dan total fraksi protein untuk pendugaan terjadinya kekebalan pada domba SUKARDJI PARTODIHARDJO	53
Studi tanggap kebal pada marmut dan kelinci yang diinokulasi dengan <i>Tripanosoma evansi</i> MUCHSON ARIFIN, IRTISAM, SIGIT WITJAKSONO, dan SRI S. ANDAYANI	57
Kerusakan dan penyembuhan DNA <i>Deinococcus radiodurans</i> setelah diiradiasi ADRIA P.M. HASIBUAN, M. KIKUCHI, Y. KOBAYASHI, dan H. WATANABE	61
Sensitivitas isolat <i>Salmonella sp.</i> terhadap iradiasi, suhu, dan pH ANDINI, L.S., HARSOYO, ROSALINA S.H., dan SRI POERNOMO	69
Pertumbuhan jamur kayu pada beberapa limbah pertanian yang diiradiasi dengan sinar gamma DARMAWI, dan EDIH SUWADJI	77
Tanggapan pertumbuhan protokorm Anggrek <i>Dendrobium</i> terhadap dosis iradiasi sinar gamma SOERTINI SOEDJONO, NINA SOLVIA, dan SUSKANDARI	83
Pengaruh iradiasi neutron cepat terhadap metabolit kalus <i>Chrysanthemum morifolium</i> Linn. LUKMAN UMAR dan IRWANSJAH	89
Pengaruh iradiasi gamma terhadap penguraian dan penghilangan zat warna disperse blue dalam larutan air AGUSTIN S.M. BAGYO, WINARTI ANDAYANI, dan SURTIPANTI SADJIRUN	95

Pengaruh iradiasi, penambahan <u>sludge</u> kelapa sawit, dan $Al_2(SO_4)_3$ pada zat warna dispersi orange-25 dalam air WINARTI ANDAYANI, AGUSTIN SUMARTONO, dan SURTIPANTI S.	103
Akumulasi, distribusi, dan toksisitas Cd terhadap ikan lele (<i>Clarias batrachus</i>) dalam air YUMIARTI, JUNE MELLAWATI, dan SUWIRMA S.	109
Studi pengaruh pakan terhadap kontribusi mineral dalam darah dan organ hewan JUNE MELLAWATI, SUHARYONO, dan SURTIPANTI S.	115
Penentuan unsur dalam beberapa bahan acuan standar dari IAEA dengan spektrometer pendar sinar-X YULIZON MENRY, JUNE MELLAWATI, dan YUMIARTI	123
Penyerapan dan distribusi monokrotophos dalam tanaman kacang hijau pada fase vegetatif dan generatif M. SULISTYATI TUNGGULDIHARDJO	133
Studi perilaku residu karbaril (1-naftil-N-metilkarbamat) dalam tanah dengan teknik perunut ^{14}C ERRY ANWAR dan M. SULISTYATI TUNGGULDIHARDJO	137
Pembuatan formula dan pelepasan terkendali insektisida aseptat ^{14}C menggunakan matriks zeolit dan penerapannya SOFNIE M. CHAIRUL, SULISTYATI, M.M., dan ULFA TAMIN	145
Aplikasi formulasi pelepasan terkendali karbofuran- ^{14}C pada tanaman tomat ULFA TAMIN, SOFNIE M. CHAIRUL, dan M. SULISTYATI	151
Memacu aktivitas sistem SOS- <i>Escherichia coli</i> teradiasi neutron cepat dengan dapar fosfat dan natrium klorida IRWANSYAH	157

CROSSLINKING DAN DEGRADASI POLIETILEN OKSIDA DALAM LARUTAN AIR DENGAN RADIASI SINAR GAMMA

Zainuddin

Pusat Aplikasi Isotop dan Radiasi, BATAN

ABSTRAK

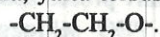
CROSSLINKING DAN DEGRADASI POLIETILEN OKSIDA DALAM LARUTAN AIR DENGAN RADIASI SINAR GAMMA. Telah dipelajari proses terbentuknya makroradikal sampai dengan terbentuknya jaringan tiga dimensi pada larutan polietilen oksida (PEO) yang diiradiasi dengan sinar Gamma dari sumber ^{60}Co dengan laju dosis 0,267 kGy/jam. Larutan yang diiradiasi dengan dosis kurang dari dosis gel diukur viskositasnya. Sedangkan yang diiradiasi dengan dosis di atas dosis gel hasilnya diekstraksi dalam air bides (50°C) selama ± 48 jam kemudian direndam dalam air bides pada suhu 30°C sampai mencapai kesetimbangan swelling dan dikeringkan pada suhu 60°C hingga beratnya konstan. Hasil pengukuran viskositas menunjukkan bahwa viskositas intrinsik dan berat molekul terus meningkat dengan bertambahnya dosis iradiasi. Sedangkan dari analisis sol-gel diketahui bahwa reaksi dekomposisi juga terjadi di samping reaksi ikatan silang di mana $G(x) = 3,3$ untuk larutan yang dijenuhkan dengan Ar dan $G(x) = 6,2$ untuk larutan yang dijenuhkan dengan N_2O . Didapatkan pula bahwa kerapatan ikatan silang (V_e) semakin tinggi dengan meningkatnya dosis iradiasi, tetapi menurunkan derajat swelling.

ABSTRACT

CROSSLINKING AND DEGRADATION OF POLYETHYLENE OXIDE IN AQUEOUS SOLUTION BY GAMMA RAYS. The process occurred in aqueous polyethylene oxide (PEO) solution which was irradiated by Gamma rays from a ^{60}Co source with a dose rate of 0.267 kGy/hour has been studied. The viscosity of the solution which was irradiated with an irradiation dose below than gelation dose was measured. While the solution irradiated with an irradiation dose higher than that of gelation dose was extracted in water at 50°C for 48 hours, immersed in water at 30°C until swelling equilibrium, and drying at 60°C to a constant weight. The viscosity measurement showed that the intrinsic viscosity and viscosity average molecular weight increase with the increasing of dose. While from sol-gel analysis it was found that the decomposition reaction was occurred along with the crosslinking reaction where $G(x) = 3.3$ for Ar-saturated solution and $G(x) = 6.2$ for N_2O -saturated solution. It was also found that the crosslinking density increases with the increasing of dose but reduces the degree of swelling.

PENDAHULUAN

Polietilen oksida (PEO) adalah termasuk polimer yang larut dalam air dengan struktur kimia relatif sangat sederhana, yaitu tersusun dari pengulangan unit:



Oleh karena PEO bersifat inert terhadap biopolimer (termasuk protein, darah, dan jaringan sel), maka PEO dapat digunakan sebagai bahan dasar, terutama dalam bentuk hidrogel untuk pembuatan berbagai jenis alat kedokteran/kesehatan dan farmasi, seperti: pembalut luka, "suture", kontak lens, membran dialisis, dan alat pelepas obat secara terkontrol (1—5). Di samping itu, PEO dapat pula digunakan untuk melapisi beberapa alat kedokteran/kesehatan yang berhubungan langsung dengan jaringan tubuh dan darah, misalnya kateter dan vaskuler protese (6).

Salah satu cara yang mudah untuk menghasilkan hidrogel PEO ialah dengan mengiradiasi larutan PEO dengan radiasi pengion, baik dengan sinar gamma maupun dengan berkas elektron. Beberapa peneliti seperti: STAFFORD (7), KING and WARD (8), dan CHARLES-BY, dkk. (9) telah mempelajari radiolisis PEO yang diira-

diasi dalam larutan air tetapi belum satupun yang membahas secara menyeluruh bagaimana proses yang terjadi dalam larutan PEO yang diiradiasi mulai dari tahap awal (terbentuknya makroradikal PEO) sampai terbentuknya hidrogel yang merupakan jaringan tiga dimensi (crosslinking).

Dalam makalah ini dilaporkan hasil pengamatan mengenai tahapan-tahapan yang terjadi dalam larutan PEO yang diiradiasi dengan sinar Gamma dari sumber ^{60}Co . Pembahasan hasil pengamatan terutama didasarkan pada hasil analisis sol-gel, viskositas, dan kesetimbangan swelling.

BAHAN DAN METODE

Bahan. Polietilen oksida (PEO) dengan berat molekul rata-rata ($\text{BM} = 3 \times 10^5$) dibeli dari Aldrich, Co. (USA) dan digunakan tanpa pemurnian lebih lanjut. Sebagai pelarut dan media swelling digunakan air bides yang telah dideionisasi dengan alat Nanopure II (Barnstead, USA).

Metode. Larutan PEO dibuat dengan melarutkan PEO (powder) dalam air bides pada suhu kamar (25°C).

Larutan diisi ke dalam gelas ampul 5 ml, dialiri gas argon (Ar) atau nitrogen oksida (N₂O) selama 45 menit dan ditutup. Untuk menghilangkan sisa oksigen yang terkandung dalam gas Ar dan N₂O, sebelumnya gas-gas tersebut dilewatkan ke dalam larutan alkali-pirogalol. Sampel yang telah ditutup kemudian diiradiasi dengan sinar Gamma dari sumber ⁶⁰Co pada suhu kamar dengan laju dosis 0,267 kGy/jam. Laju dosis tersebut ditentukan dengan dosimeter Fricke.

Penentuan Berat Molekul (Mv). Viskositas intrinsik ([η]) larutan PEO yang diiradiasi di bawah dosis gel (pregelation dose) ditentukan dengan menggunakan viskometer otomatis Schott Gerate (Jerman) pada suhu 30°C. Perubahan berat molekul Mv dapat dihitung berdasarkan persamaan BAILEY & CALLARD (10).

$$[\eta] = 1,25 \times 10^{-4} Mv^{0,78} \dots\dots\dots 1.$$

Penentuan Fraksi Gel. Untuk menghilangkan bagian yang larut (fraksi sol) maka hidrogel diekstraksi dalam air bides pada suhu ±50°C sebanyak 7 kali. Setiap ekstraksi berlangsung selama ± 7 jam dan airnya diganti. Bagian yang tidak terlarut (fraksi gel) dikeringkan dalam oven 60°C sampai beratnya konstan. Fraksi gel dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$g = 1 - s \dots\dots\dots 2.$$

di mana :

- g : fraksi gel
- s : fraksi sol = (W0 - Wd)/W0
- W0 : berat awal polimer dalam larutan sebelum diiradiasi
- Wd : berat kering hidrogel setelah ekstraksi

Penentuan Derajat Swelling. Hidrogel PEO yang telah diekstraksi direndam dalam air bides pada suhu 30°C selama ± 30 hari untuk mencapai kesetimbangan swelling. Hidrogel ini kemudian ditimbang dan dikeringkan dalam oven 60°C sampai beratnya konstan. Derajat swelling dihitung menurut persamaan:

$$DS = (Ws - Wd)/Wd \dots\dots\dots 3.$$

di mana

- DS : derajat swelling (g H₂O/g polimer kering)
- Ws : berat hidrogel pada kesetimbangan swelling
- Wd : berat kering hidrogel setelah ekstraksi dan swelling

Penentuan Hasil Kimia Radiasi Ikatan Silang. Daya serap air hidrogel sangat bergantung pada jumlah konsentrasi rantai efektif (Ve) dalam jaringan tiga dimensi (three dimensional network) di mana nilai Ve ini sangat erat hubungannya dengan berat molekul rata-rata antara dua rantai polimer yang perikatan silang (Mc), sebagaimana ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$Ve = \frac{1}{Mc} - \frac{2}{Mn(0)} \dots\dots\dots 4.$$

Oleh karena

$$Mc = \frac{4,8 \times 10^6}{G(x) \times D} \dots\dots\dots 5.$$

maka persamaan (4) dapat dituliskan dalam bentuk persamaan 6, yaitu:

$$Ve = \frac{G(x) \times D}{4,8 \times 10^6} - \frac{2}{Mn(0)} \dots\dots\dots 6.$$

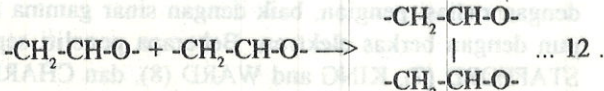
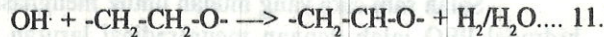
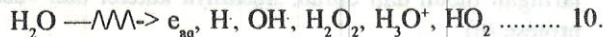
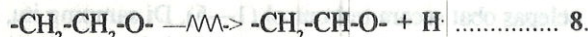
Dari data swelling nilai Ve dapat dihitung berdasarkan teori swelling equilibrium dengan menggunakan persamaan 7 (11):

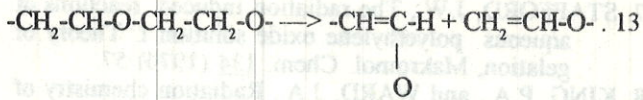
$$Ve = \frac{v/V1 [\ln(1-V2,s) + V2,s + u V2,s^2]}{V2,r [(V2,s/V2,r)^{1/3}] - 1/2 (V2,s/V2,r)} \dots\dots\dots 7.$$

Dari grafik hubungan antara Ve dan dosis iradiasi (D) yang berupa garis-lurus, maka harga G(x) dapat ditentukan, yaitu tidak lain daripada slop kurva garis lurus tersebut. Arti simbol yang digunakan pada persamaan tersebut di atas adalah: Mn(0)-jumlah berat molekul rata-rata PEO sebelum diiradiasi, G(x)-hasil kimia radiasi ikatan silang, v-volume spesifik polimer (v = 1/p, p_{PEO} = 1,26 g/cm³), V1-volume molar pelarut, V1 (H₂O)= 18), V2,r dan V2,s masing-masing adalah fraksi volume sampel gel dalam kondisi rileks dan swelling, u-parameter FLORY-HUGGINS untuk interaksi polimer dan pelarut (u_{PEO-H2O} = 0,427) (12).

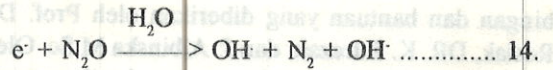
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada saat larutan PEO diiradiasi dengan radiasi sinar Gamma maka sebagian energi radiasi akan diabsorpsi oleh PEO dan sebagian lagi diabsorpsi oleh pelarut. Energi radiasi yang diabsorpsi oleh PEO akan menyebabkan atom hidrogen dapat terabstraksi dari atom karbon PEO dan membentuk makroradikal (reaksi 8). Lebih dari itu atom hidrogen yang dihasilkan dari proses abstraksi tersebut dapat pula bereaksi dengan PEO, sehingga dihasilkan makroradikal yang sama (reaksi 9). Adapun energi radiasi yang diabsorpsi oleh pelarut (air) akan menimbulkan terjadinya proses ionisasi dan eksitasi pada molekul air, sehingga terbentuk produk radiolisis air (reaksi 10) yang selanjutnya dapat bereaksi dengan PEO.





Oleh karena dalam penelitian ini konsentrasi polimer yang digunakan relatif sangat rendah ($C \leq 10\%$ b/v), maka dapat dimengerti kalau sebagian besar makroradikal PEO terbentuk melalui reaksi antara PEO dan produk radiolisis air. Sebagaimana kita ketahui bahwa di antara produk radiolisis air tersebut yang terutama reaktif terhadap polimer adalah hidroksil radikal (OH \cdot), hidrogen atom (H \cdot), dan elektron terlarut (e_{aq}^-). Reaktivitas elektron terlarut terhadap PEO telah dipelajari oleh CHARLESBY, dkk. (9). Mereka melaporkan bahwa dengan penurunan absorbansi elektron yang hanya sedikit dipercepat dengan adanya PEO reaktivitas elektron terlarut terhadap PEO adalah relatif rendah sehingga peranannya dalam proses pembentukan makroradikal tidak begitu penting. Sehubungan dengan hal tersebut ULANSKI, dkk. (13) juga telah melakukan percobaan pulsa radiolisis PEO dalam larutan air dan hasilnya ternyata memang mendukung pernyataan CHARLESBY, dkk., yaitu didapatkannya konstanta kecepatan reaksi elektron terhadap PEO lebih kecil dari $5 \times 10^6 \text{ dm}^3 \text{ mol}^{-1} \text{ dt}$. Sedangkan untuk mendapatkan gambaran mengenai reaktivitas hidrogen atom dan hidroksil radikal telah dilakukan iradiasi larutan PEO dalam kondisi jenuh gas argon (Ar) dan gas nitrogen oksida (N_2O). Dari perubahan viskositas larutan yang diiradiasi pada dosis iradiasi di bawah dosis gel maka reaktivitas radikal OH dan hidrogen atom dapat dipelajari. Pada Gambar 1 ditunjukkan hubungan antara viskositas intrinsik larutan PEO dan dosis iradiasi. Tampak bahwa viskositas intrinsik terus meningkat dengan bertambahnya dosis iradiasi di mana kenaikan yang sangat tajam terjadi pada daerah di sekitar dosis gel. Bertambahnya viskositas intrinsik jelas merupakan suatu pertanda bahwa terjadi penggabungan (rekombinasi) antara makroradikal PEO satu dengan yang lain membentuk ikatan kovalen kimia (ikatan silang atau crosslinking) (reaksi 12). Sebagai akibat dari pengikatan silang ini berat molekul polimer juga bertambah. Dengan menggunakan persamaan 1, perubahan berat molekul polimer dapat diikuti sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Terlihat bahwa berat molekul M_v terus bertambah dengan bertambahnya dosis iradiasi. Dosis iradiasi di mana nilai $1/M_v \approx 0$ dikenal sebagai dosis gel (ditentukan dengan analisis sol-gel), yaitu dosis di mana setiap dua rantai polimer dihubungkan oleh satu ikatan silang (14). Besarnya dosis gel untuk berbagai konsentrasi polimer dapat dilihat pada Gambar 3. Tampak bahwa dosis gel untuk larutan PEO yang dijenuhkan dengan N_2O lebih rendah (hampir dua kali) daripada larutan yang dijenuhkan dengan gas Ar. Hal ini secara tidak langsung menunjukkan bahwa dalam proses pembentukan makroradikal PEO radikal OH lebih dominan dari pada hidrogen atom (H \cdot). Ini dapat dimengerti karena dalam larutan yang dijenuhkan dengan N_2O sekitar 90% elektron terlarut yang terbentuk dari hasil radiolisis air akan dikonversi menjadi radikal OH (15) (reaksi 14) yang selanjutnya dapat bereaksi dengan PEO sehingga terbentuk makroradikal PEO (reaksi 11).



Untuk dosis iradiasi yang lebih besar dari dosis gel maka di dalam sistem mulai terbentuk jaringan tiga dimensi yang tidak larut dalam pelarutnya (fraksi gel). Fraksi ini akan terus bertambah dengan meningkatnya dosis iradiasi sampai maksimum sama dengan 1 (untuk jenis polimer yang hanya mengalami ikatan silang tanpa disertai dengan degradasi). Pada Gambar 4 dan 5 ditunjukkan hasil analisis sol-gel yang diplotkan menurut persamaan CHARLESBY-PINNER (16). Terlihat bahwa nilai dosis gel untuk larutan PEO yang dijenuhkan dengan gas Ar dan N_2O masing-masing adalah 0,67 dan 0,34 kGy. Sedangkan nilai $s + s^{1/2}$ untuk dosis iradiasi yang tak terhingga (diekstrapolasi) didapatkan lebih besar dari nol (0). Ini berarti bahwa di samping terjadi ikatan silang (crosslinking) juga terjadi pemutusan ikatan (degradasi). Proses degradasi ini berlangsung akibat radikal melakukan penyusunan ulang atau rearrangement untuk menuju pada kondisi stabil/lebih stabil dengan cara memutuskan rantai polimer terdekat di mana radikal tersebut berada (reaksi 14). Dengan menggunakan persamaan 6, nilai hasil kimia radiasi ikatan silang untuk kedua sistem larutan dapat ditentukan, yaitu tidak lain daripada slop kurva garis lurus hubungan antara V_e dan dosis iradiasi (Gambar 6). Dari hasil perhitungan diperoleh nilai $G(x)$ masing-masing adalah 3,3 untuk larutan yang dijenuhkan dengan Ar dan 6,2 untuk larutan yang dijenuhkan dengan N_2O .

Pada Gambar 7 ditunjukkan hubungan antara derajat swelling dan dosis iradiasi. Untuk dosis yang sama (misalnya 3 kGy) derajat swelling hidrogel yang diperoleh dengan mengiradiasi larutan PEO jenuh N_2O lebih rendah dari derajat swelling hidrogel hasil iradiasi larutan PEO jenuh Ar. Hal ini dapat dijelaskan karena kerapatan ikatan silang yang dicerminkan dari nilai V_e hidrogel hasil iradiasi larutan PEO yang dijenuhkan dengan N_2O lebih tinggi (Gambar 6) daripada yang dijenuhkan dengan Ar.

KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil pengamatan ini adalah:

1. Di antara ketiga produk utama dari hasil radiolisis air, radikal OH merupakan penyebab utama terjadinya makroradikal PEO.
2. PEO yang diiradiasi dalam larutan akan mengalami reaksi ikatan silang dan degradasi.
3. Hasil kimia radiasi ikatan silang pada konsentrasi larutan 3% adalah $G(x) = 3,3$ untuk larutan yang dijenuhkan dengan Ar dan $G(x) = 6,2$ untuk larutan yang dijenuhkan dengan N_2O .

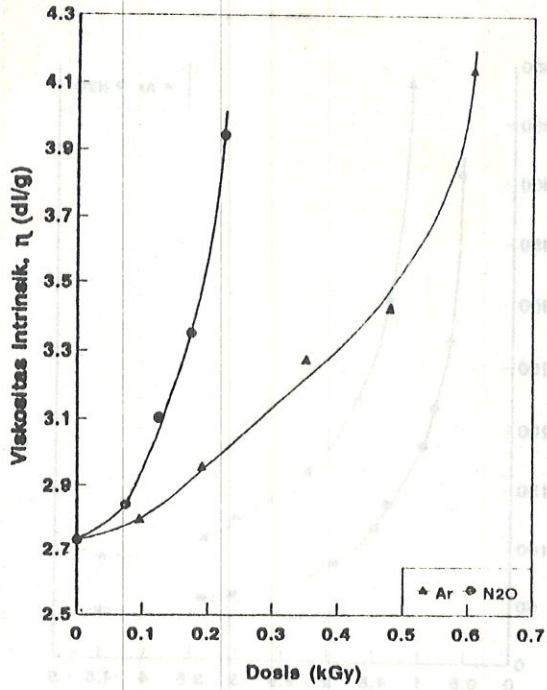
UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dilakukan di Institute of Applied Radiation Chemistry, Technical University of Lodz, Poland. Penelitian ini dapat terlaksana dengan baik berkat bim-

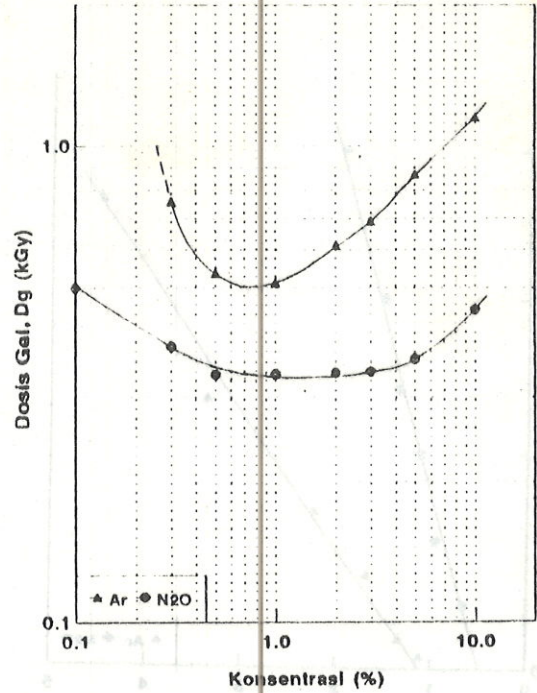
bingan dan bantuan yang diberikan oleh Prof. Dr. J.M. Rosiak, DR. K. Burczak, dan J. Albinska M.Sc. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga. Begitu pula ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada IAEA atas stipend yang diberikan selama satu (1) tahun dalam kaitannya dengan Technical Assistent Project No. INS/8/017.

DAFTAR PUSTAKA

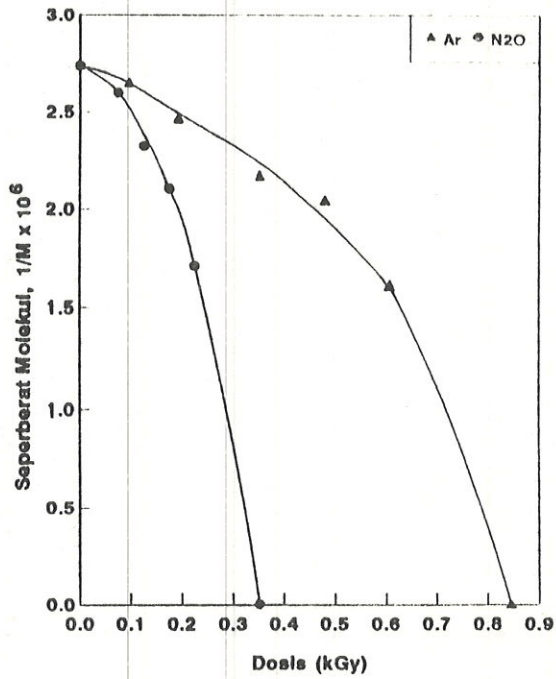
1. GRAHAM, N.B., "Poly (ethylene oxide) and related hidrogels", *Hydrogel in Medicine and Pharmacy* (PEPPAS, N.A., ed.), Vol.II (1987) 75.
2. HOU-CHING, Y., and SILVERMEN, J., Development and testing of radiation crosslinked poly (ethylene oxide) for sutureless anastomosis, *Radiat. Phys. Chem.* 25 1-3 (1985) 375.
3. BRIAN, J.T., "Hydrogels as contact lens materials", *Hydrogel in Medicine and Pharmacy* (PEPPAS, N.A., ed.), Vol.III (1987) 53.
4. PEPPAS, N.A., "Others biomedical application of hydrogel", *Hydrogel in Medicine and Pharmacy* (PEPPAS, N.A., ed.), Vol.III (1987) 177.
5. APICILLA, A., DEL NOBILE, M.A., MENSITIERI, G., NICOLAIS, L., CAPELLO, B., and LA ROTONDA, M., "Poly (ethylene oxide) (PEO) constant release monolithic devices" *Polymers in Medicine* (OTTENBRITE, R.M., and CHIellini, E., eds.), Technomic, Pennsylvania (1992) 23.
6. HENCH, L.L., "Biomaterials", *Advanced Technology* (ABELSON, P.H., and DORFMAN, M., eds.), AAAS, Washington, D.C.(1980) 22.
7. STAFFORD, J.W., The radiation induced reactions of aqueous polyethylene oxide solution I. Theory of gelation, *Makromol. Chem.* 134 (1970) 57.
8. KING, P.A., and WARD, J.A., Radiation chemistry of aqueous poly(ethylene oxide) solution I., *J. Polym. Sci.*, 8A (1970) 253.
9. CHARLESBY, A., FYDELOR, P.J., KOPP, P.M., KEENE, J.P., and SWALLOW, A.J., "Pulse radiolysis studies of aqueous polymer-thio-urea system", *Pulse Radiolysis* (EBERT, M., KEENE, J.P., SWALLOW, A.J., and BAXENDALE, J.H., eds.), Academic Press, New York (1965) 193.
10. BAILEY, J.R., and CALLARD, R.W., Some properties of poly (ethylene oxide) in aqueous solution, *J. Appl. Polym. Sci.* 1 (1959) 56.
11. ROSIAK, J.M., OLEJNICZAK, J., and CHARLESBY, A., Determination of radiation yield of hydrogel crosslinking, *Rad. Phys. Chem.* 32 (1988) 691.
12. BANDRUP, J., *Polymer Handbook*, Interscience, New York (1966) IV-3.
13. ULANSKI, P., ZAINUDDIN, and ROSIAK, J.M., Pulse radiolysis of aqueous poly (ethylene oxide) I. Formation of macroradicals, in Press.
14. CHARLESBY, A., "A theory of network formation in irradiated polyesters", *Proceeding of Royal Soc.*, 214A (1957) 495.
15. BUXTON, G.V., "Basic radiation chemistry of liquid water" *The Study of Fast Processes and Transient Species by Electron Pulse Radiolysis* (BAXENDALE, J.H., and BUSI, F., eds.), (1981) 241.
16. CHARLESBY, A., and KOPP, P.M., *Proceeding of Royal Soc.*, 291A (1966) 129.



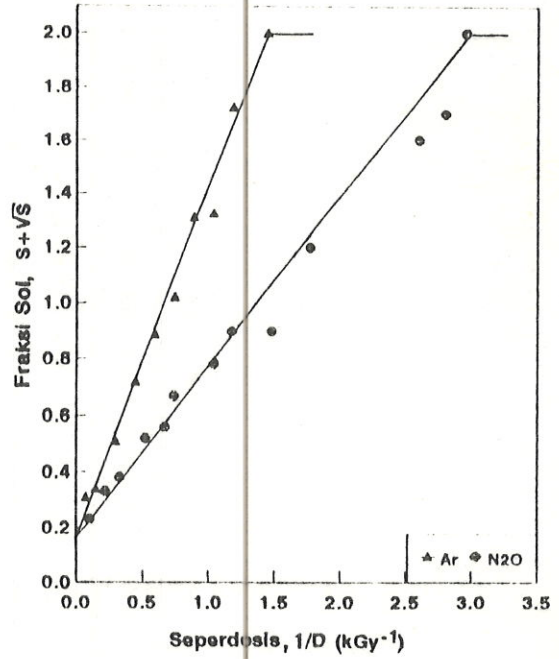
Gambar 1. Pengaruh dosis iradiasi terhadap viskositas intrinsik larutan PEO. Konsentrasi PEO 5%



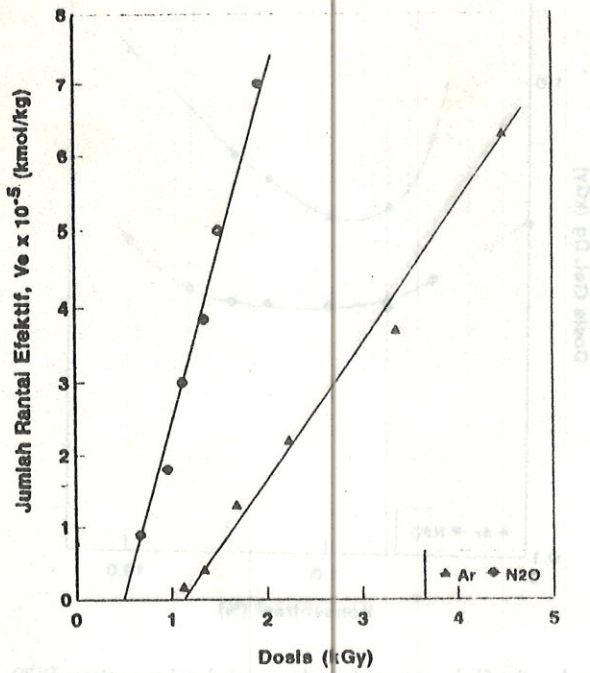
Gambar 3. Hubungan antara dosis gel dan konsentrasi PEO



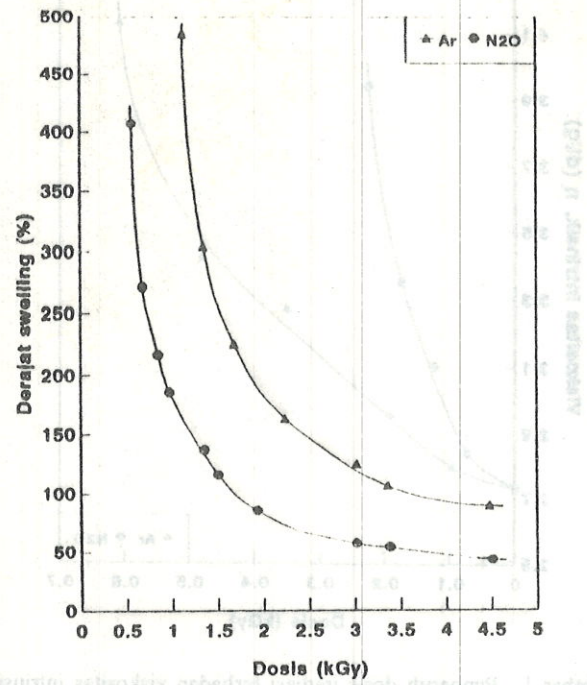
Gambar 2. Pengaruh dosis iradiasi terhadap berat molekul. Konsentrasi PEO 5%



Gambar 4. Fraksi sol larutan PEO yang diiradiasi dengan sinar gamma diplotkan menurut persamaan CHARLESBY-PINNER. Konsentrasi PEO 3%



Gambar 5. Hubungan antara jumlah rantai efektif (V_e) dan dosis iradiasi. Konsentrasi PEO 3%



Gambar 6. Hubungan antara derajat swelling hidrogel PEO dan dosis iradiasi. Konsentrasi PEO 3%

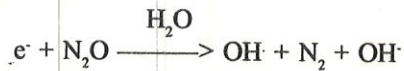
DISKUSI

HERWINARNI

Mengapa $G(x) = 3,3$ untuk larutan yang dijenuhkan dengan Ar hasilnya lebih rendah, bila dibandingkan dengan yang dijenuhkan dengan N_2O $G(x) = 6,2$?

ZAINUDDIN

Hal ini karena di dalam larutan yang dijenuhkan dengan N_2O sekitar 90% elektron terkonversi menjadi OH radikal menurut reaksi:



Sehingga reaktivitas didalam larutan meningkat hampir dua kali lipat atau dengan kata lain $G(x)$ -nya juga otomatis bertambah hampir dua kali lipat $\{G(x) - N_2O = 6,2\}$. Sedangkan dalam larutan yang dijenuhkan dengan Ar, elektron hampir sama sekali tidak mengalami perubahan dan elektron itu sendiri reaktivitasnya terhadap PEO relatif sangat kecil. Jadi, jelas nilai $G(x)$ dalam larutan yang dijenuhkan dengan N_2O akan lebih tinggi dari $G(x)$ larutan yang dijenuhkan dengan Ar.

MERI. S

1. Apakah yang dimaksud dengan viskositas intrinsik, mengapa Anda memilih jenis viskositas tersebut dalam penelitian ini?
2. Ada berapa macam viskositas yang dapat digunakan untuk menguji polimer?

ZAINUDDIN

1. Viskositas intrinsik adalah viskositas spesifik menurun dari larutan pada konsentrasi = 0% yang didapat dengan cara extrapolasi

$$\text{Viskositas spesifik } (n) = \frac{t-t_0}{t_0} = \frac{t}{t_0} - 1 = n_{rel} - 1$$

t_0 = waktu alir pelarut

t = waktu alir larutan polimer

n_{rel} = viskositas alir relatif

$$\text{Viskositas spesifik menurun } (n_{sp}) = \frac{n}{c}$$

C = konsentrasi polimer

$$\text{Viskositas intrinsik } (n) = \lim_{C \rightarrow 0} n_{sp}$$

Jenis viskositas ini dipilih karena dapat digunakan untuk menghitung berat molekul polimer dengan persamaan BAILEY dan CALLARD, yaitu $[\eta] = 1,25 \times 10^{-4} M_v^{0,78}$

M_v = berat molekul rata-rata berdasarkan viskositas (Viscosity Overage Molecular Weight)

Pada dasarnya viskositas ada 3 (tiga) macam, yaitu:

1. Viskositas Spesifik, n
2. Viskositas Spesifik menurun (reduced specific viscosity), n_{sp}
3. Viskositas intrinsik (intrinsic viscosity) (n)

DISKUSI

ZAINUDDIN

1. Viskositas intrinsik adalah viskositas spesifik menurut dari larutan pada konsentrasi = 0% yang diperoleh dengan cara extrapolasi.

$$\eta_{sp}/c = \frac{\eta_{sp}}{c} - k_1 c = \frac{\eta_{sp}}{c} - k_1 c$$

$$\eta_{sp} = \text{viskositas diri larutan}$$

$$t = \text{waktu alir larutan}$$

$$t_0 = \text{waktu alir larutan pelarut}$$

$$\eta_{sp}/c = \frac{\eta_{sp}}{c} - k_1 c$$

$$C = \text{konsentrasi polimer}$$

Viskositas intrinsik (η_{sp}/c) = $\lim_{c \rightarrow 0} \eta_{sp}/c$. Jenis viskositas ini dipilih karena dapat digunakan untuk menghitung berat molekul polimer dengan persamaan BALLEBY dan CALLEARD yaitu $[\eta] = 1.32 \times 10^{-4} M_w^{0.72}$

Mv = berat molekul rata-rata berdasarkan viskositas (Viscosity Overlap Molecular Weight)

Pada dasarnya, viskositas ada 2 (dua) macam yaitu:

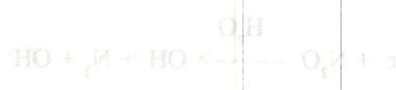
1. Viskositas Spesifik
2. Viskositas Spesifik menurut (reduced specific viscosity) η_{sp}/c
3. Viskositas intrinsik (intrinsic viscosity) $[\eta]$

HERWINARNO

Monomer G (x) = 1,3 dibrom lantan yang digantikan dengan Ar sebagai lebih rendah, bisa dibandingkan dengan yang digantikan dengan N, G (x) = 6,3?

ZAINUDDIN

Hal ini karena di dalam larutan yang ditunjukkan dengan N, O sekitar 90% elektron terkonversi menjadi OH radikal menurut reaksi



Sebagai reaktivitas dibrom lantan menunjukkan bahwa dua kali lipat atau dengan kata lain G (x)-nya juga semakin bertambah karena dua kali lipat $\{G(x) - N_2O + 0.2\}$. Sedangkan data lantan yang digantikan dengan Ar, elektron lantan akan lebih tidak mengahami perubahan dan elektron ini sendiri reaktivitasnya terhadap PEO relatif sangat kecil. Jadi jika nilai G (x) dalam larutan yang ditunjukkan dengan N, O akan lebih tinggi dari G (x) lantan yang ditunjukkan dengan Ar.

MERI 2

1. Apakah yang diukur dengan viskositas intrinsik, mengapa Anda memilih jenis viskositas tersebut dalam penelitian ini?
2. Apa bentuk macam viskositas yang dapat digunakan untuk mengukur polimer?