

PERUBAHAN SIFAT FISIK LDPE SETELAH DIIRADIASI BERKAS ELEKTRON

Wiwik S. Subowo, Nenen Rusnaeni dan Rahmat Satoto

Pusat Penelitian dan Pengembangan Fisika Terapan-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

ABSTRAK

PERUBAHAN SIFAT FISIK LDPE SETELAH DIIRADIASI BERKAS ELEKTRON. Telah dilakukan pengukuran perubahan sifat fisik LDPE setelah diiradiasi berkas elektron, karena terbentuknya ikatan silang. Iradiasi dilakukan dengan berbagai dosis yaitu 50, 100, 200 dan 300 kGy. Pada dosis 50 kGy ikatan silang belum terbentuk. Pada dosis 100 kGy ikatan silang telah terbentuk dan sampai dosis 300 kGy masih bertambah. Kekuatan tarik bertambah dengan bertambahnya ikatan silang yang terbentuk, dan mulur putus cenderung menurun. Modulus elastisitas dan *yield strain* hampir tidak berubah. Derajat kristalinitas menunjukkan sedikit penurunan terhadap penambahan dosis, dimana hal ini akan mempengaruhi titik leleh T_m . Tetapi temperatur dekomposisi T_d agaknya lebih dipengaruhi oleh terbentuknya ikatan silang.

ABSTRACT

THE CHANGE OF PHYSICAL PROPERTIES ON THE LDPE AFTER ELECTRON BEAM IRRADIATION. Measurement of the change of physical properties had been carried out on the LDPE after irradiated by electron beam, as the cross linking may occur. The irradiation was applied with the dosage variation of 50, 100, 200 and 300 kGy. On the radiation dosage of 50 kGy the cross linking was already formed and it is increase with the increasing of the irradiation dosage. It is found that the tensile strength is increased by the increasing of the cross linking formation. The elongation at break tend to decrease. It is almost no change in the modulus elasticity and the yield strain. The degree of crystallinity is slightly decrease by the increasing of the irradiation dosage, which will be affecting the melting point T_m . While the decomposition temperature T_d seems to be more affected by the cross linking formation.

PENDAHULUAN

Salah satu cara untuk membentuk ikatan silang pada polimer ialah dengan cara iradiasi dengan berkas elektron. Dengan iradiasi berkas elektron tersebut polimer tereksitasi kemudian terbentuk radikal polimer. Radikal tersebut berpropagasi membentuk radikal polimer baru, yang akhirnya saling bergabung membentuk ikatan silang [1]. Pada dosis tertentu pembentukan ikatan silang mengalami kejenuhan sehingga dengan penambahan dosis tidak menambah terbentuknya ikatan silang [2], bahkan ikatan silang yang telah terbentuk dapat terdegradasi.

Pembentukan ikatan silang pada polimer dapat mengubah sifat fisik, misalnya kekuatan mekanik, kristalinitas dan sifat termal. Perubahan tersebut tergantung pada banyaknya ikatan silang yang terbentuk. Diharapkan kekuatan mekanik bertambah sampai pada dosis tertentu, kemudian menurun [3].

Dalam penelitian ini dilakukan iradiasi dengan berkas elektron pada *Low Density Polyethylene* (LDPE) dengan berbagai dosis yaitu 50,

100, 200 dan 300 kGy, untuk memperoleh LDPE teriradiasi dengan sifat fisik tertentu.

Cara iradiasi pada dosis 100, 200 dan 300 kGy dilakukan dengan cara mengulang iradiasi 50 kGy 2x, 4x dan 6x, karena sumber yang tersedia pada waktu percobaan hanyalah 50 kGy.

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa pada 50 kGy ikatan silang belum terbentuk. Pada 100 kGy ikatan silang sudah terbentuk dan sampai pada 300 kGy masih bertambah. Dengan bertambahnya pembentukan ikatan silang kekuatan tarik juga cenderung naik. Demikian juga *yield stress*. Sedangkan mulur putus cenderung menurun dan modulus elastisitas dan *yield strain* hampir tidak berubah.

Oleh intensitas iradiasi yang tinggi dapat terjadi perusakan kristal, sehingga ukurannya menjadi kecil. Sudah barang tentu hal tersebut mempengaruhi sifat fisik lainnya. Misalnya kekuatan mekanik maupun sifat termal. Pengaruh perusakan kristal dapat saling berlawanan dengan pengaruh ikatan silang.

BAHAN, METODE DAN TATA KERJA

LPDE yang digunakan dalam penelitian ini ialah PSF 4020 MALEN E berbentuk pelet (POLAND Petrochemia Plock). Untuk memperoleh bentuk film setebal 0,20 mm, pelet tersebut di press panas pada suhu 140 °C dan pengaturan tekanan 200 kgf/cm². Kemudian di *quench* dengan air pada suhu ruang. Film yang diperoleh dipotong-potong sesuai dengan bentuk yang diperlukan dalam pengukuran selanjutnya, yaitu bentuk *dumbel* dan bentuk pita, baru kemudian diiradiasi dengan berkas elektron (dilakukan oleh Staf Peneliti BATAN-PAIR, Jakarta). Berkas elektron bersumber dari mesin berkas elektron buatan Nissin High Voltage Co. Ltd yang mempunyai daya 300 keV dan kuat arus maksimal 50 mA, (dioperasikan dengan kuat arus 10 mA) yang ada di BATAN PAIR, Jakarta. Dosis yang digunakan adalah 50, 100, 200 dan 300 kGy.

Iradiasi pada dosis 100, 200 dan 300 kGy tersebut dilakukan dengan cara pengulangan iradiasi 50 kGy, jadi tidak langsung pada dosis 100, 200 dan 300 kGy. Hal ini dilakukan karena sumber yang tersedia pada waktu percobaan hanya 50 kGy.

Ikatan silang yang terbentuk dikenali dengan pengukuran fraksi gel dengan cara ekstraksi dengan pelarut silen selama 24 jam. Berat sisa ekstraksi dibanding berat sampel semula dikalikan 100 % merupakan harga fraksi gel (dilakukan oleh Staf Peneliti BATAN-PAIR, Jakarta).

Uji kekuatan tarik dilakukan dengan tensile tester UCT 5T Tensilon, Orientec. Sampel dalam bentuk *dumbel* dan cara pengukuran sesuai dengan JIS No. K-7113.

Kristalinitas diukur dengan XRD buatan Rigaku dengan target Cu. Analisis termal dilakukan dengan TG/DTA buatan Seiko tipe 200.

HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS

Hasil pengukuran fraksi gel yang terbentuk ditunjukkan pada Tabel 1. Hasil pengukuran uji *tensile* ditunjukkan pada Tabel 2, kristalinitas pada Tabel 3 dan hasil analisis termal pada Tabel 4.

Tabel 1. Fraksi gel yang terbentuk dengan berbagai dosis iradiasi.

Dosis (kGy)	0	50	100	200	300
Fraksi gel (%)	0	0	26	53	60

Tabel 2. Hasil pengukuran uji tarik dengan berbagai dosis iradiasi.

Dosis (kGy)	0	50	100	200	300
σ (kg/cm ²)	164	166	186	177	272
ϵ_u (%)	582	560	590	549	546
G (kg/cm ²)	17,5	18,0	17,0	16,0	18,0
σ_y (kg/cm ²)	94	93	98	87	97
ϵ_y (%)	17	16	17	16	16

Keterangan:

σ = kekuatan tarik

ϵ_u = mulur putus (elongation at break)

G = modulus elastisitas

σ_y = yield stress

ϵ_y = yield strain

Tabel 3. Hasil pengukuran kristalinitas.

Dosis (kGy)	0	50	100	200	300
Kristalinitas (%)	37	36	36	35	35

Tabel 4. Hasil analisis termal.

Dosis (kGy)	0	50	100	200	300
T _m (°C)	111,5	110,0	109,0	108,0	108,0
T _d (°C)	465,0	472,0	471,0	472,0	486,0

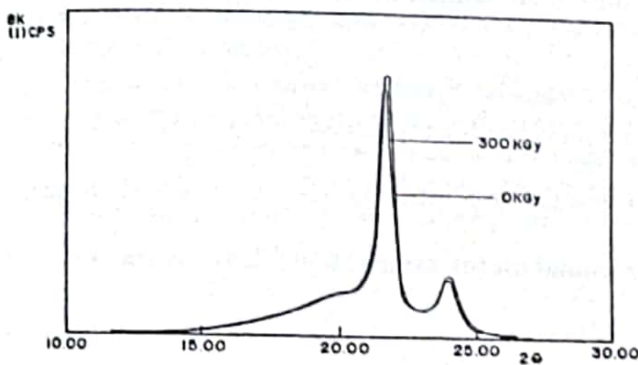
PEMBAHASAN

Dari Tabel 1 terlihat bahwa pada dosis 50 kGy belum terbentuk ikatan silang, maka seharusnya tidak terjadi perubahan kekuatan tarik (σ). Kemudian pada dosis 100 kGy ada kenaikan kekuatan tarik sesuai dengan mulai terbentuknya ikatan silang. Seharusnya pada 200 kGy diharapkan kekuatan tarik lebih besar lagi karena bertambahnya ikatan silang yang terbentuk. Walaupun demikian secara keseluruhan dapat dikatakan bahwa dengan terbentuknya ikatan silang kekuatan tarik menjadi lebih tinggi.

Pengukuran uji tarik sekaligus dapat menunjukkan besaran-besaran lain, yaitu mulur putus ϵ_u , yang cenderung menurun dengan terbentuknya ikatan silang, modulus elastisitas

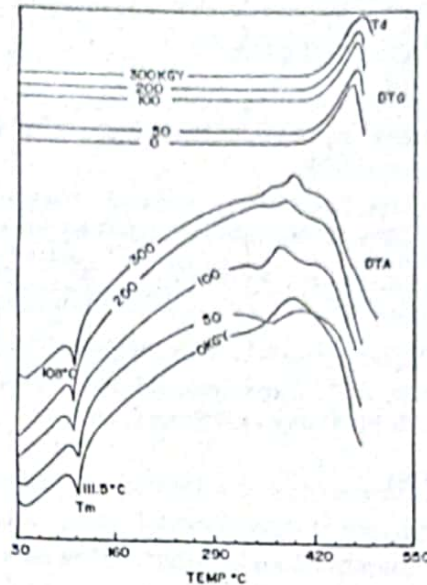
(G) hampir tidak berubah, *yield stress* (σ_y) sedikit naik dan *yield strain* (ϵ_y) hampir tidak berubah.

LDPE yang digunakan pada penelitian ini adalah semi kristal, artinya sebagian dalam fasa amorf dan sebagian lagi dalam fasa kristal. Pada waktu diiradiasi bagian amorf tereksitasi kemudian membentuk radikal polimer dan akhirnya radikal tersebut bergabung membentuk ikatan silang. Dari pengukuran kristalinitas terlihat ada sedikit penurunan dengan naiknya dosis iradiasi. Tetapi pola defraktogram yang ditunjukkan pada Gambar 1 memperlihatkan tidak adanya perubahan sudut defraksi (2 θ), yang menandakan struktur kristal tidak berubah. Sedikit penurunan kristalinitas yang terjadi mungkin disebabkan oleh perusakan pada bagian kristal.



Gambar 1. Defraktogram sinar-x LDPE tanpa iradiasi dan setelah 300 kGy iradiasi.

Hasil pengukuran sifat termal menunjukkan turunnya titik leleh (*melting point*) dengan naiknya dosis iradiasi. Nampaknya disini perusakan kristal memang terjadi. Sedikit penurunan titik leleh ini sesuai dengan kristalinitas yang sedikit menurun. Sedangkan suhu dekomposisi (T_d) naik dengan naiknya dosis iradiasi yang berarti pembentukan ikatan silang lebih berpengaruh. Perubahan T_m dan T_d ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sifat termal dari LDPE tanpa aditif dengan berbagai dosis iradiasi berkas elektron.

T_m -titik leleh

T_d -dekomposisi suhu.

KESIMPULAN

- Pada dosis 50 kGy belum terbentuknya ikatan silang. Pada 100 kGy, ikatan silang sudah terbentuk, dan dengan metode yang dilakukan sampai dosis 300 kGy pembentukan ikatan silang masih bertambah.
- Kekuatan tarik dan *yield stress* naik dengan naiknya pembentukan ikatan silang, sedang mulur putus cenderung menurun. Modulus elastisitas dan *yield strain* dapat dikatakan tidak berubah.
- Dari eksperimen ini pengaruh perusakan kristal terlihat pada T_m dan pengaruh pembentukan ikatan silang terlihat pada suhu dekomposisi, T_d .

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pimpinan BATAN-PAIR Jakarta atas izin yang diberikan untuk penelitian ini. Penulis menyampaikan penghargaan kepada Dr. Mirzan T. Razzak beserta seluruh kelompok RUT Isolasi Kabel atas bantuan dan kerjasamanya yang baik.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bae Hun-Jai, Crosslinked polymer insulation wire and cable industry and formulation development, Appear in Regional Training Course on Radiation Crosslinking Technology (September 1990).
2. Sun Jia Zhen, Properties of crosslinked polymer, Appear in Regional Training Course on Radiation Crosslinking Technology (September 1990).
3. Zhang, H. K., Formulation of radiation-crosslinked wire and cable insulation, Appear in Regional Training Course on Radiation Crosslinking Technology (September 1990).
4. Bikales, V.M., (Ed), Characterization of Polymer, Wiley- Interscience (1971).
5. Rabek, J.F., Experimental Method of Polymer Chemistry, Physical Principles and Application, John Wiley and Sons (1983).

DISKUSI

Muh. Yusnan Naim:

Dalam memberikan iradiasi berkas elektron akan mengubah sifat fisik dari LPDE.

1. Bagaimana kondisi ikatan silang pada PE apabila e' mengenai kristal (kelakuan atom) ?
2. Bagaimana karakteristik termalnya terhadap kekuatan tarik dan *loss* dielektrik semua pemuaianannya ?
3. Pada eksperimen tersebut, batas suhu yang diberikan sampai berapa sehingga PE ini akan rusak.

Wiwik S. Subowo:

1. Eksitasi terjadi pada daerah amorf, maka jika energi jatuh pada kristal bila energinya cukup tinggi dapat merusak kristal.
2. Kami tidak membuat kurva sifat termal terhadap kekuatan tarik. *Loss* dielektrik dan pemuaian belum diukur.
3. Pada waktu melakukan sifat termal, suhu maksimal diatur sampai 550 °C. Ternyata dekomposisi terjadi pada 465 - 482 °C.

Sugiarto D. :

1. Dosis 200 kGy menghasilkan fraksi gel 53 % dan 300 kGy fraksi gelnya 60 %. Bagaimana nilai fraksi gel pada dosis > 300 kGy, karena fraksi gel berkaitan dengan sifat fisik dan mekanik polimer ?
2. Apakah dalam percobaan bahan polimer tersebut dibalik pada saat iradiasi untuk mendapatkan dosis yang homogen ?

Wiwik S. Subowo:

1. Sampai dengan dosis 300 kGy memang fraksi gelnya naik (60 %), dibanding dosis 200 kGy, fraksi gelnya 53 %. Tetapi bila dosis dinaikkan misalnya 400 kGy, belum tentu dapat menghasilkan ikatan silang yang lebih tinggi lagi mengingat hal berikut:
 - Prosentase fase amorf maksimum 63 %.
 - Dengan dosis tinggi ada kemungkinan terjadi degradasi molekul polimer.Dengan kata lain pembentukan ikatan silang dapat mengalami kejenuhan.
2. Ya, iradiasi dilakukan dengan pembalikan pada pengulangan.

Indro Yuwono:

1. Dalam praktek/permintaan pasar sifat LDPE yang bagaimana yang diinginkan?
2. Dari Tabel 2, pada dosis radiasi 100 kGy terjadi harga yang naik, mohon penjelasan mengapa hal ini terjadi.

Wiwik S. Subowo:

1. LDPE yang diiradiasi dimaksudkan untuk isolasi kabel tahan panas dan tegangan tinggi. Oleh karena itu maka pada sifat termal diharapkan ada kenaikan T_m dan T_d . Disini T_d sudah naik mendapatkan T_m yang lebih tinggi.
2. σ_{100} naik karena terbentuknya ikatan silang molekul menjadi lebih kokoh (terjadi net working), demikian juga σ_y juga naik.

Herlan Martono:

1. Penentuan T_m apakah ini dikaitkan dengan viskositas karena ini (polimer bahan amorf) ?
2. Penentuan kristal apakah dengan standar tertentu dalam pengukuran dengan defraktometer sinar-x. Apa pengaruh penurunan kristalinitas terhadap sifat mekanik ?

Wiwik S. Subowo:

1. LDPE yang digunakan terdiri dari fase amorf dan kristal. T_m akan dipengaruhi oleh kedua fase tersebut. Pengukuran T_m dalam hal ini tidak dikaitkan langsung pada viskositas, maka kami tidak tahu berapa angka viskositas pada T_m . Pengukuran viskositas dapat diukur dengan flow tester.
2. Pengukuran kristalinitas tidak menggunakan sampel standar. Pada alat yang digunakan (computerized) telah dilengkapi dengan software untuk menghitung kristalinitas. Pengaruh penurunan kristalinitas dapat memberikan penurunan *yield strength* dan *tensile strength*, namun pengaruh pembentukan ikatan silang dapat memberikan pengaruh yang positif (penaikan), dan dalam hal ini pengaruh ikatan silang lebih dominan.