

# Urania

## Jurnal Ilmiah Daur Bahan Bakar Nuklir

Beranda jurnal: <http://jurnal.batan.go.id/index.php/urania/>



### KARAKTERISASI STRUKTUR DAN GUGUS FUNGSI MATERIAL INSULASI KABEL LISTRIK TEGANGAN RENDAH DARI PRODUK LOKAL PASCA IRADIASI GAMMA

Antonio Gogo<sup>1</sup>, Muhammad Ilham Bayquni<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusat Riset Teknologi Daur Bahan Bakar Nuklir dan Limbah Radioaktif – BRIN  
Kawasan PUSPIPTEK Serpong Gd.20 Tangerang Selatan, Banten 15314  
e-mail: anto001@brin.go.id

(Naskah diterima: 19-04-2022, Naskah direvisi: 26-04-2022, Naskah disetujui: 13-05-2022)

#### ABSTRAK

**KARAKTERISASI STRUKTUR DAN GUGUS FUNGSI MATERIAL INSULASI KABEL LISTRIK TEGANGAN RENDAH DARI PRODUK LOKAL PASCA IRADIASI GAMMA.** Penelitian ini ditujukan untuk mempelajari pengaruh radiasi gamma terhadap karakter polimer semi kristalin pada material insulasi kabel listrik tegangan rendah dari produk lokal, terkait penggunaannya di fasilitas dengan radiasi gamma tinggi. Sampel uji diiradiasi menggunakan perangkat Gamma Cell dengan dosis radiasi sebesar 25, 50, 100, 200, 400 dan 800 kGy. Derajat kristalinitas dan komposisi senyawa dari sampel uji dianalisis dengan uji XRD dan dikarakterisasi menggunakan FTIR. Berdasarkan uji XRD yang dilakukan, tidak teramati adanya perbedaan signifikan pada pola difraksi antara sampel uji non iradiasi maupun sampel uji iradiasi dengan variasi besar dosis. Hal ini mengindikasikan tidak terdapat perubahan fase mayor dari senyawa kristalin yang terkandung dalam sampel uji terkait. Adapun derajat kristalinitas dari sampel uji cenderung menurun seiring meningkatnya dosis radiasi yang diberikan. Hasil analisis FTIR menunjukkan adanya perbedaan *transmittance* yang fluktuatif antar sampel uji dengan dosis radiasi gamma yang berbeda juga dengan sampel uji non-iradiasi gamma. Adanya spektra yang semakin melebar di 400 kGy dan 800 kGy, pada *wavenumber* 3369 – 3370  $\text{cm}^{-1}$ , hal ini mengindikasikan adanya gugus *O-H stretch*. Pengujian lebih lanjut diperlukan untuk menguatkan identifikasi terhadap gugus fungsi, penentuan senyawa organik, maupun evaluasi terhadap karakter mekanik sampel uji yang sekaligus diperlukan untuk mengonfirmasi dugaan adanya gangguan terhadap asosiasi polimer-*plasticizer*.

**Kata kunci:** Polimer semi kristalin, iradiasi gamma, derajat kristalinitas, perubahan kimia.

**ABSTRACT**

**STRUCTURE AND FUNCTIONAL GROUP CHARACTERIZATION OF GAMMA IRRADIATED MATERIALS FOR LOW VOLTAGE ELECTRICAL CABLES INSULATION FROM LOCAL PRODUCT.** *The aim of this research is to study the effect of gamma radiation on the semi-crystalline polymer character of local product low-voltage electrical cable insulation material, related to its use in facilities with high gamma radiation. The test samples were irradiated using a Gamma Cell device with radiation doses of 25, 50, 100, 200, 400 and 800 kGy. The degree of crystallinity and compound composition of the test material were analyzed by XRD test and characterized using FTIR. Based on the XRD test, there was no significant difference observed in the diffraction pattern between the non-irradiated test material and the irradiated test material with a large variation in dose. This indicates that there is no major phase change of the crystalline compound contained in the related test sample. The degree of crystallinity of the test sample tends to decrease as the radiation dose increases. The FTIR results show that there is a fluctuating transmittance difference between test samples with different doses of gamma radiation as well as non-gamma irradiated test samples. The presence of increasingly widening spectra at 400 kGy and 800 kGy, at wavenumber 3369 – 3370 cm<sup>-1</sup>, indicates the presence of O-H stretch clusters. Further tests are needed to strengthen the identification of functional groups, determination of organic compounds as well as the evaluation of the mechanical character of the test sample, which is also necessary to confirm the suspected disturbance in the polymer-plasticizer association.*

**Keywords:** *Semi crystalline polymer, gamma irradiation, degree of crystallinity, chemical change.*

## PENDAHULUAN

Material komposit yang banyak digunakan di dunia komersial salah satunya memanfaatkan material matriks polimer, atau biasa disebut resin. Berbagai material polimer dengan karakteristik yang beragam tersedia di industri, bergantung kebutuhan atau aplikasi terkait. Material untuk insulasi kabel listrik yang biasa digunakan termasuk dalam kategori polimer termoplastik yang dapat dibentuk dengan perlakuan panas maupun tekanan, baik dengan struktur semikristalin maupun amorf. Polimer ini terdiri atas rantai molekul dengan ikatan intramolekul yang kuat, akan tetapi memiliki ikatan intermolekul yang lemah[1]. Aditif biasa ditambahkan pada polimer termoplastik dengan tingkat komposisi tertentu untuk memodifikasi senyawa sehingga menghasilkan karakter material yang sesuai dengan kebutuhan. Karakteristik struktural dari polimer memungkinkannya berinteraksi dengan aditif melalui interaksi elektrostatik termasuk gaya *van der Waals* dan interaksi antardipol. Gaya ini meskipun relatif lemah dibandingkan dengan ikatan kimia utama, cukup kuat untuk menjaga agar aditif dan polimer tetap terikat erat selama masa pakai produk[2].

Aditif mencakup berbagai struktur kimia, digunakan dalam plastik untuk berbagai tujuan. Aditif dapat diklasifikasikan menjadi aditif untuk mempertahankan sifat polimer dan untuk memperpanjang sifat polimer. Kelas pertama terdiri atas aditif untuk mengubah plastik menjadi bentuk yang diinginkan dan untuk melindungi bahan dari degradasi oleh panas, oksidasi, serta serangan mekanis dan kimia terutama selama pemrosesan dan dengan demikian menjaga rantai polimer dan berat molekul polimer yang pada dasarnya tidak berubah. Contoh umum dari aditif pada kategori pemeliharaan adalah antioksidan, plasticizer, *heat stabilizers*, alat bantu pemrosesan, dan pelumas[3].

Bahan berbasis polimer yang berbeda banyak digunakan dalam berbagai aplikasi di pembangkit listrik tenaga nuklir, seperti pembungkus kabel/isolator, *sealant*, o-ring, pelapis cat, pelumas dan *grease*. Seperti bahan atau komponen lainnya, polimer rentan terhadap penuaan. Peningkatan suhu, radiasi pengion, dan kelembaban dianggap sebagai *stressor* penuaan yang paling penting dan cenderung berinteraksi dengan struktur polimer dengan cara yang berbeda. Sifat

campuran polimer, seperti derajat kristalinitas, jumlah *filler*, dan antioksidan, memiliki efek terhadap perilaku penuaan atau ketahanan terhadap *stressor*, dengan demikian mekanisme degradasi dapat menjadi kompleks[4].

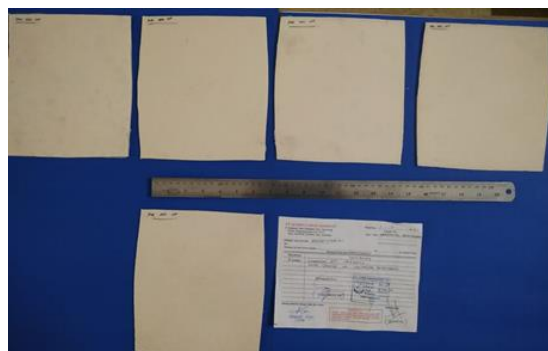
Radiasi mengakibatkan adanya radikal yang dapat bergabung kembali melalui berbagai reaksi kimia, kemudian membentuk kelompok kimia baru yang disebut cacat. Cacat akibat radiasi dapat berupa adanya *scissions (bond breakage)* dan *crosslinking* (pembentukan ikatan kovalen baru antar dua rantai polimer (*inter-chains crosslinking*) atau dalam *polymer backbone* yang sama (*intra-chain crosslinking*), modifikasi ini berdampak pada beberapa sifat mekanik. Selain itu, cacat dapat berupa *unsaturated bonds* (ikatan rangkap seperti gugus C = C dalam atmosfer *inert*). Cacat akibat radiasi lainnya yaitu adanya pelepasan gas, seperti HCl untuk polimer terklorinasi, seperti pada PVC, ataupun berupa produk degradasi non-gaseous, yaitu, molekul dengan massa molekul rendah (alkohol, asam karboksilat, fragmen alifatik, dan lainnya[5].

Penelitian ini ditujukan untuk mempelajari pengaruh radiasi gamma terhadap karakter dari material insulasi kabel listrik tegangan rendah dari produk lokal, menggunakan perangkat uji Floresensi Sinar-X (XRF), Difraksi Sinar-X (XRD) dan *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*. Informasi yang diperoleh dapat menjadi bahan pertimbangan untuk penggunaan produk terkait di fasilitas dengan radiasi gamma tinggi, salah satunya di *hot cell* Instalasi Radiometalurgi.

## METODOLOGI

### a. Bahan

Material yang digunakan sebagai sampel uji merupakan bahan komersial yang digunakan sebagai material insulasi kabel tegangan rendah tanpa modifikasi tertentu (*as received*), disediakan dalam bentuk lembaran (Gambar 1) oleh PT. Jembo Cable Company Tbk., salah satu produsen kabel listrik di Indonesia, yang selanjutnya disebut sampel uji. Pihak produsen kabel listrik menerima material dalam bentuk granul dari pabrik *compounder*. Kemudian di pabrik kabel, granul tersebut diproses sehingga menjadi lembaran, lalu dipotong dalam berbagai ukuran dan digunakan sebagai sampel uji.

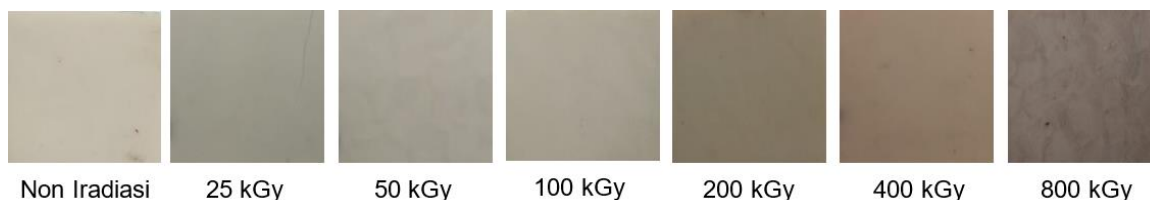


Gambar 1. Lembaran sampel uji

## b. Metode

### 1. Iradiasi sampel uji

Sampel uji diiradiasi menggunakan perangkat Gamma Cell di fasilitas yang terdapat di Kawasan Sains dan Teknologi Pasar Jumat, Organisasi Riset Tenaga Nuklir



Gambar 2. Fotografi polimer PVC sebelum dan sesudah iradiasi.

### 3. Analisis derajat kristalinitas dengan XRD

Derajat kristalinitas dan komposisi senyawa dari sampel uji dianalisis dengan uji XRD menggunakan perangkat PANalytical-Empyrean di Pusat Riset Teknologi Deteksi Radiasi dan Analisis Nuklir, Gedung 71, BRIN. Tabung sinar-x yang digunakan yaitu anoda Cu,  $K\alpha$  1,54060 Å, dengan tegangan dan arus operasional berturut-turut 40 kV dan 30 mA. Pengujian dilakukan dengan laju pindai  $0.07^\circ$  ( $2\theta$ )/menit pada rentang sudut difraksi ( $2\theta$ )  $5^\circ$ –  $70^\circ$ . Pola difraksi yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan database ICDD-PDF 2 dan diolah dengan perangkat lunak HighScore Plus. Analisis grafik terhadap pola difraksi dilakukan dengan perangkat lunak Origin untuk mendapatkan derajat kristalinitas dari masing-masing sampel uji.

Tabel 1. Komposisi hasil uji XRF.

Unsur	Komposisi (%)						
	NI	25 kGy	50 kGy	100 kGy	200 kGy	400 kGy	800 kGy
Cl	77,515	76,575	75,700	76,515	76,765	77,720	76,765
Ca	15,125	15,000	15,230	14,960	15,525	15,780	15,525
Pb	5,930	5,895	6,175	5,855	6,115	6,290	6,115
P	0,158	0,152	0,139	0,143	0,135	0,143	0,135
Fe	0,046	0,045	0,046	0,042	0,049	0,053	0,049

(ORTN), Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Radiasi sinar gamma ( $\gamma$ ) yang diberikan berasal dari radioisotop  $^{60}\text{Co}$  dengan laju dosis 3,74 kGy/jam. Variasi dosis yang diberikan pada sampel uji yaitu sebesar 25 kGy, 50 kGy, 100 kGy, 200 kGy, 400 kGy dan 800 kGy, berturut-turut kemudian disebut sebagai sampel uji A, B, C, D, E, dan F. Penampakan visual dari sampel uji non iradiasi maupun setelah diiradiasi ditunjukkan pada Gambar 2.

### 2. Analisis kandungan unsur dengan XRF

Unsur yang terkandung pada sampel uji diketahui dengan uji XRF menggunakan *Standardless ARL™ QUANT'X EDXRF Spectrometer* di Pusat Riset Teknologi Daur Bahan Bakar Nuklir dan Limbah Radioaktif, Gedung 20, BRIN.

### 4. Analisa gugus fungsi dengan FTIR

Sampel uji sebelum dan setelah iradiasi dikarakterisasi menggunakan IR-Prestige-21 spectrometer model 800 series, Shimadzu di ORTN BRIN Pasar Jumat. Pengujian dilakukan pada rentang *wavenumber*  $4000\text{ cm}^{-1}$  hingga  $400\text{ cm}^{-1}$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### a. Karakterisasi XRF

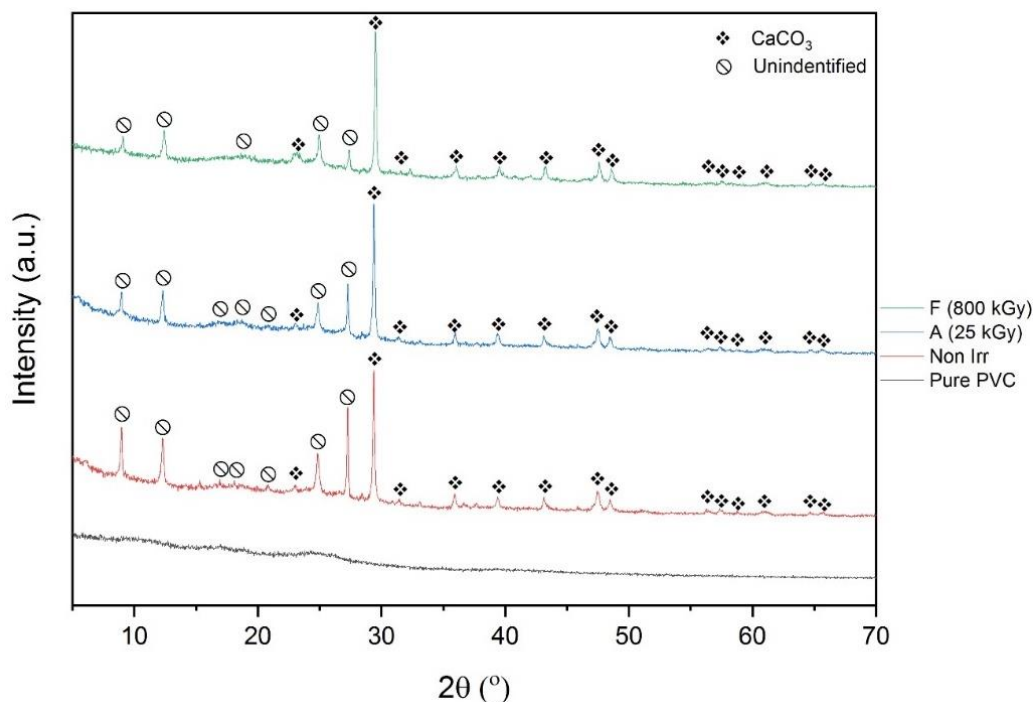
Pengujian XRF dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur dari sampel uji. Data unsur ini diperlukan sebagai data pendukung untuk identifikasi senyawa yang selanjutnya dilakukan dengan uji XRD. Berdasarkan uji XRF terhadap sampel uji non iradiasi maupun iradiasi, terdapat sedikitnya lima unsur dominan, ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

## b. Karakterisasi XRD

Pengujian difraksi sinar-X dilakukan untuk mengetahui komposisi senyawa dari sampel uji maupun kecenderungan perubahan derajat kristalinitas sampel uji seiring kenaikan dosis radiasi sinar gamma yang diberikan. Perbandingan pola difraksi dari beberapa sampel uji ditunjukkan pada Gambar 3.

Pola difraksi sinar X dari sampel *pure* PVC menunjukkan kandungan fase amorf, ditandai dengan adanya bukit pada rentang  $2\theta$   $15^{\circ}$ – $30^{\circ}$ . Pola tersebut mirip dengan pola difraksi terhadap sampel PVC murni pada beberapa penelitian lainnya, hal ini mengonfirmasi bahwa secara umum PVC memiliki struktur amorf [6], [7]. Puncak-puncak kristalin teramati pada sampel uji (*PVC compound*) yang telah ditambahi berbagai zat aditif, seperti *filler*, *plasticizer*, *stabilizer*, serta *lubricant*, baik sampel non iradiasi maupun iradiasi. Namun, pola difraksi bukit pada rentang  $2\theta$   $15^{\circ}$ – $30^{\circ}$  yang relatif

mirip antarsampel uji mengindikasikan bahwa iradiasi sinar gamma tidak mengubah sistem kristal dari PVC, sebagaimana adanya zat aditif tidak mengubah sistem kristal dari PVC pula[6]. Sedikitnya terdapat 20 puncak kristalin di sekitar  $2\theta$   $8,9^{\circ}$  hingga  $65,6^{\circ}$  pada sampel uji, baik sampel non iradiasi maupun sampel yang diiradiasi dengan sinar gamma. Senyawa kristalin yang teridentifikasi pada pola difraksi tersebut yakni  $\text{CaCO}_3$  (JCPDS 83-0577) yang diketahui merupakan bahan *filler* yang umum digunakan dalam komposit PVC[8], ditunjukkan oleh puncak pada  $2\theta$   $23,0^{\circ}$ ,  $29,4^{\circ}$ ,  $31,4^{\circ}$ ,  $35,9^{\circ}$ ,  $39,3^{\circ}$ ,  $43,1^{\circ}$ ,  $47,5^{\circ}$ ,  $48,5^{\circ}$ ,  $56,4^{\circ}$ ,  $57,4^{\circ}$ ,  $60,7^{\circ}$ ,  $64,7^{\circ}$ , dan  $65,6^{\circ}$ . Senyawa yang berperan sebagai *filler* ini diketahui meningkatkan ketahanan bahan PVC (*compound*) terhadap degradasi yang diakibatkan radiasi sinar gamma[9]. Senyawa  $\text{CaCO}_3$  yang berhasil diidentifikasi ini juga terkonfirmasi oleh hasil uji XRF di atas yang menyebutkan bahwa kalsium (Ca) merupakan salah satu unsur dominan dalam sampel uji.



Gambar 3. Komparasi pola difraksi sampel uji.

Berdasarkan analisis grafik dari pola difraksi ini diketahui adanya perubahan intensitas dari puncak antarsampel uji, hal ini berkaitan dengan perubahan derajat kristalinitas pada sampel uji. Kalkulasi derajat kristalinitas pada sampel uji dilakukan

dengan membandingkan nilai integrasi area di bawah puncak kristalin dengan integrasi area di bawah grafik secara keseluruhan menggunakan perangkat lunak origin[10]. Hasil kalkulasi derajat kristalinitas dari tiap sampel uji ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil kalkulasi derajat kristalinitas sampel uji.

Kode	Dosis Iradiasi Gamma (kGy)	Derajat Kristalinitas (%)
NI	Non Iradiasi	74.47
A	25	71.48
B	50	76.44
C	100	71.05
D	200	69.8
E	400	69.81
F	800	67.59

Berdasarkan kalkulasi di atas diketahui bahwa derajat kristalinitas pada sampel uji cenderung turun seiring kenaikan dosis radiasi gamma yang diberikan. Penurunan derajat kristalinitas tersebut salah satunya dapat disebabkan adanya *cross linking* pada PVC yang menyebabkan terjadinya perubahan fase kristalin ke fase amorf[11]. Terdapat anomali derajat kristalinitas pada sampel uji B yang mendapat dosis sebesar 50 kGy. Hal ini dapat disebabkan tidak homogenya PVC *compound* yang digunakan sebagai sampel uji, terutama pada ketebalan sampel[12]. Analisis lebih lanjut diperlukan untuk mendalami hal ini. Hasil uji XRD yang diperoleh mengindikasikan tidak adanya perbedaan signifikan pada pola difraksi antara sampel uji non iradiasi maupun iradiasi dengan variasi besar dosis. Hal ini mengindikasikan tidak terdapat perubahan fase mayor dari senyawa kristalin yang terkandung dalam sampel uji terkait. Adapun perubahan halus dari pola difraksi pada rentang  $2\theta$   $15,5^\circ$  hingga  $18,9^\circ$  diduga mengindikasikan adanya gangguan terhadap asosiasi antara polimer (PVC) dengan *plasticizer* akibat iradiasi sinar gamma[9]. Hal ini didukung pula dengan pengamatan visual terhadap sampel uji, yaitu terdapat perubahan warna sampel yang makin terlihat gelap seiring meningkatnya dosis radiasi sinar gamma yang diberikan. Adapun beberapa puncak lainnya belum dapat teridentifikasi, di antaranya pada  $2\theta$   $8,9^\circ$ ,  $12,3^\circ$ ,  $18,6^\circ$ ,  $24,8^\circ$ , dan  $27,3^\circ$ . Puncak-puncak tersebut diduga merujuk kepada senyawa *stabilizer* PVC berbasis timbal, didukung dengan diketahuinya unsur timbal (Pb) sebagai salah satu unsur dominan berdasarkan uji XRF pada sampel uji. Hanya saja analisis lebih lanjut belum dapat dilakukan karena keterbatasan informasi mengenai profil sampel uji (PVC *compound*) yang digunakan (*as received*).

### c. Karakterisasi FTIR

Karakterisasi dengan FTIR bertujuan untuk mengetahui perubahan gugus fungsi pada sampel uji disebabkan perlakuan iradiasi dengan sinar gamma. Berdasarkan perbandingan grafik FTIR dari sampel uji non-iradiasi dan iradiasi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4, diketahui adanya perbedaan *transmittance* fluktuatif antara grafik satu dan lainnya, yang juga disajikan pada Tabel 3 berikut kemungkinan gugus fungsinya (grup). Banyaknya frekuensi yang dilewati senyawa (yang tidak diserap) akan diukur sebagai persen transmisi (intensitas)[13]. Intensitas puncak transmisi yang lebih tinggi dibandingkan dengan lainnya ditandai dengan semakin tajamnya puncak spektra dan rendahnya nilai transmisi yang ditunjukkan pada gambar grafik[13].

Hasil uji FTIR disajikan pada Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7. Pada sampel uji yang diiradiasi dengan dosis 800 kGy muncul grup *O-H stretch* pada *wavenumber*  $3369\text{ cm}^{-1}$  (ditunjukkan dengan tanda panah pada Gambar 6 dan Gambar 7). Hal ini sudah mulai terlihat di dosis 200 kGy dan 400 kGy, di rentang *wavenumber* yang sama,  $3600\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$  (Tabel 3). Tidak terdapat puncak di rentang  $2000\text{-}2500\text{ cm}^{-1}$  dan  $3265\text{-}3335\text{ cm}^{-1}$ , yang mengindikasikan tidak adanya ikatan rangkap tiga, seperti  $\text{C}\equiv\text{C}$  atau  $\equiv\text{C-H}$ [15]. Terdapat puncak kecil di sekitar  $1580\text{ - }1624\text{ cm}^{-1}$ , menandakan adanya ikatan *N-H bend*, *weak-medium* (Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7). Terdapat puncak dengan *transmittance* yang cukup kuat lebih dari 5 puncak, hal ini mengindikasikan bahwa sampel uji mempunyai senyawa organik yang cukup besar. Pada daerah ikatan tunggal ( $2500\text{-}4000\text{ cm}^{-1}$ ), beberapa puncak terdeteksi. Tidak ada puncak di antara  $3000\text{ cm}^{-1}$  dan  $3200\text{ cm}^{-1}$ , yang mengindikasikan tidak ada *aromatic compounds* (*Ar C-H stretch*)[15]. Puncak di bawah  $3000\text{ cm}^{-1}$ , *alkanes and alkyls* untuk rentang  $2850\text{-}3000\text{ cm}^{-1}$  (*C-H stretch*)[14]. Puncak pada *wavenumber*  $1721$  hingga  $1724\text{ cm}^{-1}$  (Tabel 3) mengindikasikan *C-O stretch*[17]. Puncak spektra pada  $1725\text{ cm}^{-1}$  mengindikasikan adanya vibrasi *stretching* gugus *carbonyl* ( $\text{C}=\text{O}$ ), sementara puncak pada  $1300\text{ - }1000\text{ cm}^{-1}$  merupakan gugus *C-O* yang khas dari ester[18]. Spektra yang tajam dan besar pada  $1427$  sd  $1437\text{ cm}^{-1}$  (Tabel 3) mengindikasikan *O-H bend*

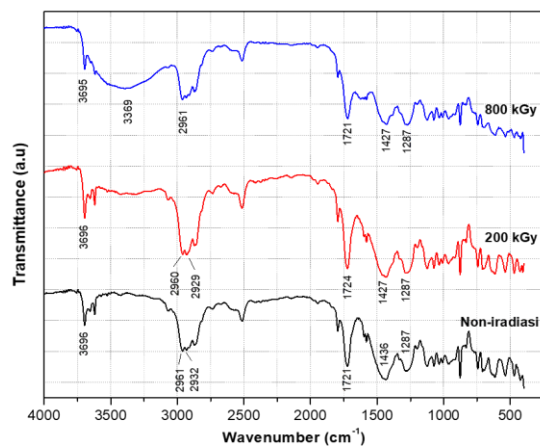
Karakterisasi Struktur dan Gugus Fungsi Material  
Insulasi Kabel Tegangan Rendah dari Produk Lokal Pasca Iradiasi Gamma  
(Antonio Gogo, Muhammad Ilham Bayquni)

carboxylic acid[17]. Puncak spektra pada band 1426 cm<sup>-1</sup> mengindikasikan gugus hidrokarbon (C-H) dari CH<sub>2</sub> dan CH<sub>3</sub>, sementara puncak pada 2960 – 2927 cm<sup>-1</sup> mengindikasikan adanya gugus C-H alifatik dari vibrasi stretching dari metilena,

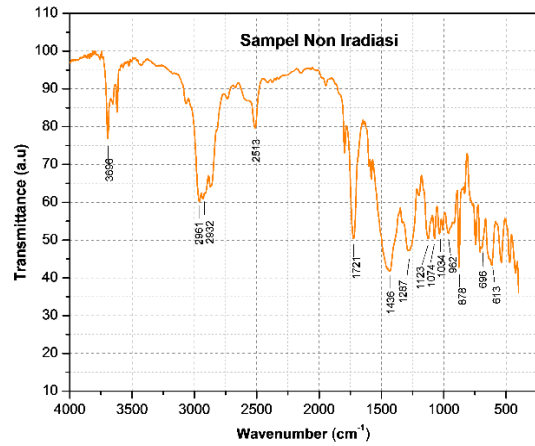
CH<sub>3</sub> dan etilena (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>)[18]. Adanya spektra yang semakin melebar di 400 kGy dan 800 kGy, pada 3369 – 3370 cm<sup>-1</sup> hal ini mengindikasikan adanya gugus O-H stretch, alcohols[17].

Tabel 3. Identifikasi gugus fungsi (grup) hasil uji FTIR.

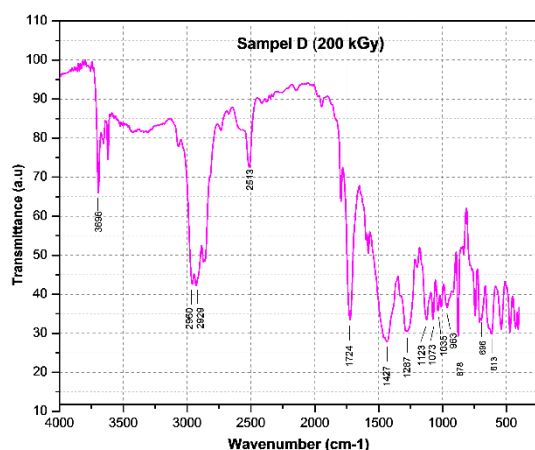
Grup	0 kGy		25 kGy		50 kGy		100 kGy		200 kGy		400 kGy		800 kGy	
	1/λ (cm <sup>-1</sup> )	%T (a.u.)	1/λ (cm <sup>-1</sup> )	%T (a.u.)	1/λ (cm <sup>-1</sup> )	%T (a.u.)	1/λ (cm <sup>-1</sup> )	%T (a.u.)	1/λ (cm <sup>-1</sup> )	%T (a.u.)	1/λ (cm <sup>-1</sup> )	%T (a.u.)	1/λ (cm <sup>-1</sup> )	%T (a.u.)
C-Cl [14]	613	43	612	32	612	38	613	28	613	30	613	34	612	29
C-Cl [14]	696	48	695	39	695	42	696	33	696	33	696	38	698	34
=C-H bend [15]	878	42,7	878	31,5	878	38,6	878	27,5	878	29,3	878	36,7	877	35,9
Trans C-H wagging [16]	962	51,7	963	41,2	964	47,3	963	36,5	963	36,7	963	42,7	963	40,1
C-O stretch [15]	1035	51,7	1035	39,2	1034	47	1033	35,4	1035	35,8	1034	43	1033	40,7
C-O stretch [15]	1074	50,4	1073	38,7	1074	46,2	1074	33,5	1073	33,6	1074	41,2	1074	39
C-O stretch [15]	1124	50,4	1124	38,8	1124	46,5	1124	33,5	1124	33,5	1125	41,3	1125	39,2
C-O stretch [17]	1288	47,3	1288	36,7	1288	44,3	1288	30,6	1288	30,6	1288	37,8	1287	36,3
O-H bend carboxylic acid [17]	1436	41,7	1437	30,9	1434	39,7	1436	26,6	1427	28	1431	35,5	1427	36,4
C-O stretch [17]	1722	50,4	1724	39,7	1723	48,3	1723	33,9	1724	33,4	1724	40,5	1721	40,1
C-H stretch [16]	2932	60,9	2930	49,6	2930	58,1	2930	45,2	2929	42,2	2932	51,1	-	-
C-H stretch [14]	2961	60,2	2960	49,7	2960	58,1	2960	44,7	2960	42,6	2960	50,3	2961	52,4
O-H stretch (alcohols) [17]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3370	71,2	3369	59,7
O-H stretch (alcohols) [17]	3696	76,9	3696	71	3696	75	3696	68	3696	66	3696	70,9	3695	72



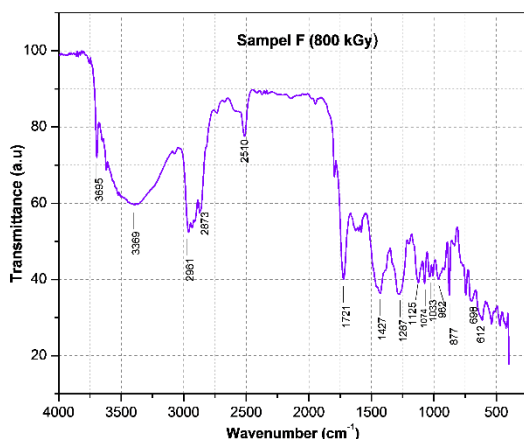
Gambar 4. Grafik FTIR gabungan, wavenumber vs transmittance, sampel non-iradiasi, iradiasi gamma 200 dan 800 kGy



Gambar 5. Grafik FTIR, wavenumber vs transmittance, sampel non-iradiasi.



Gambar 6. Grafik FTIR wavenumber vs transmittance, sampel iradiasi 800 kGy



Gambar 7. Grafik FTIR, wavenumber vs transmittance, sampel iradiasi 200 kGy.

Analisis terhadap hasil uji FTIR ini menunjukkan bahwa tidak ada pengaruh yang signifikan dari iradiasi gamma pada pembentukan gugus fungsi untuk dosis sinar gamma hingga 100 kGy. Hal ini dibuktikan dengan spektrum dari semua sampel uji memiliki puncak-puncak pada rentang wavenumber yang sama. Puncak pada pita  $844\text{ cm}^{-1}$  ditujukan untuk vibrasi ulur C-Cl. Pada kabel yang tidak digunakan, tampak pada sisi energi yang lebih tinggi yaitu  $872\text{ cm}^{-1}$ , yang berarti C-Cl stretch telah terjadi di lingkungan di mana ikatan C-Cl jauh lebih kuat daripada di PVC murni[16]. Dengan demikian, pita  $878$  dan  $877\text{ cm}^{-1}$  pada Tabel 3, dapat mengindikasikan adanya C-Cl stretch. Selain itu, pita  $610$ ,  $620$ ,  $685$  dan  $693\text{ cm}^{-1}$  juga mengindikasikan C-Cl

stretch[14]. Pada Tabel 3, yaitu pita  $613$  dan  $612\text{ cm}^{-1}$  serta  $695$ ,  $696$  dan  $698\text{ cm}^{-1}$ . Trans-CH wagging di pita  $691\text{ cm}^{-1}$  juga salah satu yang mengindikasikan PVC[16] dan pada Tabel 3, di rentang  $962-964\text{ cm}^{-1}$ . Dengan demikian, pita frekwensi yang ada, termasuk yang ada di  $2932\text{ cm}^{-1}$  (C-H stretch) dan  $1722\text{ cm}^{-1}$  (C-O stretch atau carbonyl), mengindikasikan PVC[16].

Pada iradiasi gamma 200 kGy, terlihat mulai terbentuk gugus fungsi baru dan semakin menguat pada sampel uji 400 kGy dan 800 kGy, di pita  $3370$  dan  $3369\text{ cm}^{-1}$  (Tabel 2), yaitu O-H stretch (alcohols). Pola spektra ini (mengarah pada senyawa polyvinyl alcohols)[14].

## KESIMPULAN

Secara umum, berdasarkan analisis FTIR diketahui bahwa terdapat perbedaan transmittance pada setiap grafik FTIR dari sampel uji, baik yang non-iradiasi maupun teriradiasi. Pada grafik FTIR sampel uji iradiasi gamma 800 kGy terlihat adanya gugus fungsi yang berbeda dengan lainnya pada wavenumber  $3369\text{ cm}^{-1}$ , yaitu O-H stretch. Munculnya gugus fungsi ini mulai terlihat di grafik FTIR 200 kGy dan 400 kGy. Spektrum IR dari sampel uji dari non-iradiasi, iradiasi gamma 25 kGy sd 800 kGy telah dibahas. Beberapa pengujian diperlukan untuk menguatkan identifikasi terhadap gugus fungsi dalam sampel uji, di antaranya Nuclear Magnetic Resonance (NMR). Adapun untuk mengidentifikasi senyawa organik yang terkandung dalam sampel, diperlukan pengujian GC-MS. Dari uji XRD diketahui derajat kristalinitas cenderung menurun seiring kenaikan besar dosis radiasi gamma yang diberikan. Selanjutnya diperlukan pengujian mekanik untuk mengevaluasi pengaruh radiasi sinar gamma terhadap karakter mekanik sampel uji. Pengujian ini juga diperlukan untuk mengonfirmasi dugaan adanya gangguan terhadap asosiasi polimer-plasticizer yang dapat menyebabkan penurunan kekuatan mekanik sejalan dengan menurunnya derajat kristalinitas dari sampel uji.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Bapak Bambang Sugeng, Dian Pribadi Perkasa, dan Muhammad Yasin, serta personel kelompok uji radiometalurgi di PRTDBBNLR yang telah membantu hingga penelitian ini dapat diselesaikan.



**KONTRIBUTOR PENULIS**

Kontributor utama dalam makalah ini adalah Antonio Gogo dan Muhammad Ilham Bayquni.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] S. Thomas, K. Joseph, S. K. Malhotra, K. Goda, and S. M. Sadasivan, "Polymer composites, macro- and microcomposites. Wiley-VCH, 2012.
- [2] P. H. Daniels, "A brief overview of theories of PVC plasticization and methods used to evaluate PVC-plasticizer interaction," *J. Vinyl Addit. Technol.*, vol. 15, no. 4, pp. 219–223, 2009.
- [3] R. Pfaendner, "Polymer Additives," in *Handbook of Polymer Synthesis, Characterization, and Processing*, Wiley, 2013.
- [4] K. Sipila *et al.*, "Acceptance criteria for polymers in nuclear applications," Stockholm, Sweden, 2016.
- [5] M. Ferry *et al.*, "Polymers in the nuclear power industry," *Comprehensive Nuclear Materials*, Second Edi., vol. 3, Eds. 2020, pp. 545–580.
- [6] Y. Liu and C. Zhang, "The influence of additives on crystallization of polyvinyl chloride," *J. Wuhan Univ. Technol. Sci. Ed*, vol. 22, no. 2, 2007.
- [7] A. M. Abdelghany, M. S. Meikhail, and R. Hamdy, "Enrichment of poly vinyl chloride (PVC) biological uses through sodium chloride filler, density functional theory (DFT) supported experimental study," *J. Adv. Phys.*, vol. 13, no. 3, 2018.
- [8] N. S. Yousef, "PVC compounding: preparation, physical and mechanical properties," *Int. J. Mech. Prod. Eng.*, vol. 6, no. 12, pp. 27–32, 2018.
- [9] G. Wypych, "PVC Degradation and Stabilization," 4th ed. Elsevier, 2020.
- [10] F. N. Pardo *et al.*, "Effects on the thermo-mechanical and crystallinity properties of nylon 6,6 electrospun fibres reinforced with one dimensional (1D) and two dimensional (2D) Carbon," *Materials (Basel)*, vol. 6, no. 8, pp. 3494–3513, 2013.
- [11] G. S. Sulistioso, S. Sudirman, D. I. Anwar, F. Lukitowati, dan B. Abbas, "Sifat fisis dan mekanis komposit high density polyethylene (HDPE) – hydroxyapatite (HAp) dengan teknik iradiasi gamma," *J. Kim. dan Kemasan*, vol. 37, no. 1, 2015.
- [12] W. Cao, M. P. Mullarney, B. C. Hancock, S. Bates, and K. R. Morris, "Modeling of transmitted X-ray intensity variation with sample thickness and solid fraction in glycine Compacts," *J. Pharm. Sci.*, vol. 92, no. 12, 2003.
- [13] I. Aprilia, S. Sarmayana, dan E. Suprastiwi, "Perbedaan intensitas transmitansi pelepasan senyawa hidroksil mineral trioxide aggregate, nano silika sekam padi hasil metode sol-gel dan pirolisis," *Padjadjaran J. Dent. Res. Students*, vol. 5, no. 1, 2021.
- [14] I. Noda, A. E. Dowrey, J. L. Haynes, and C. Marcott, "Group frequency assignments for major infrared bands observed in common synthetic polymers," in *Physical Properties of Polymers Handbook*, 2nd ed., J. E. Mark, Ed. Springer, New York, NY, 2007, pp. 395–406.
- [15] U. of N. Mexico, "Characteristic Infrared Absorption Bands of Functional Groups." [Online]. Available: [http://www.unm.edu/~orgchem/304L/pages/05 IR chart.pdf](http://www.unm.edu/~orgchem/304L/pages/05%20IR%20chart.pdf). [Accessed: 02-Apr-2022].
- [16] A. Ul-Hamid, K. Y. Soufi, L. M. Al-Hadhrami, and A. M. Shems, "Failure investigation of an underground low voltage XLPE insulated cable," *Anti-Corrosion Methods Mater.*, vol. 62, no. 5, pp. 281–287, 2015.
- [17] Merck KGaA, "IR Spectrum Table & Chart." [Online]. Available: <https://www.sigmaaldrich.com/ID/en/technical-documents/technical-article/analytical-chemistry/photometry-and-reflectometry/ir-spectrum-table>. [Accessed: 02-Apr-2022].
- [18] T. P. Hutabarat, Jonius, "Studi degradasi isolasi kabel PVC: perbandingan isolasi kabel akibat hubungan pendek listrik dan nyala api terbuka pada instalasi listrik yang terbakar," Universitas Sumatera Utara, 2017.

HALAMAN INI DIBIARKAN KOSONG