

ANALISIS BAHAN PROSES PEMBUATAN DETEKTOR PLASTIK SINTILASI

Abdul Jami, Hafni Lissa Nuri, Puji Santosa
PUSAT REKAYASA FASILITAS NUKLIR – BATAN,
Kawasan Puspiptek Gd.71, Serpong, Tangerang Selatan 15314
abduljami@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS BAHAN PROSES PEMBUATAN DETEKTOR PLASTIK SINTILASI. Pemanfaatan bahan radioaktif diberbagai bidang perlu penanganan dan pengamanan secara nyata, yaitu dengan memonitor pergerakan bahan radioaktif antara lain dengan menggunakan detektor plastik sintilasi. Detektor plastik sintilasi direncanakan akan dibuat dari bahan dasar utama polystyrene dan bahan aditif yaitu PTP (dopant primer), POPOP (dopant sekunder), keduanya berfungsi sebagai pengubah panjang gelombang, dan gas inert N_2 untuk menghilangkan oksigen dan gas terlarut. Telah dilakukan analisis kebutuhan bahan dan sifat teknis dasar plastik sintilasi dengan faktor keselamatan 5% dan diperoleh hasil sebagai berikut, massa total dalam percobaan 900 gram, densitas campuran $1,0524 \text{ g/cm}^3$, penyusutan volume 0,72%, jumlah atom C = $4,87 \times 10^{22} \text{ atom/cm}^3$ dan jumlah atom H = $4,86 \times 10^{22} \text{ atom/cm}^3$ dan perbandingan atom C : H = 1 : 1. Hasil ini sesuai dengan referensi yang digunakan.

Kata kunci : Detektor plastik, Polystyrene, PTP, POPOP, Dopant, Shifter.

ABSTRACT

MATERIAL ANALYSIS FOR MANUFACTURE PROCESS OF SCINTILLATION PLASTIC DETECTOR. The use of radioactive material in various fields requires real handling and security, namely by monitoring the movement of radioactive material, using particular instrument, such as scintillation plastic detector. The scintillation plastic detector is planned to be made from the main base material of polystyrene and additives materials namely PTP (primary dopant), POPOP (secondary dopant), that function as wavelength shifter, and inert gas N_2 to remove dissolved oxygen and moisture. An analysis of material requirements and basic technical properties of scintillation plastics with the safety factor of 5% has been obtained as follows, total mass in the 900 gram experiment, mixture density $1,0524 \text{ g/cm}^3$, volume shrinkage 0,72%, number of atoms C = $4,87 \times 10^{22} \text{ atoms/cm}^3$ and the number of atoms H = $4,86 \times 10^{22} \text{ atoms/cm}^3$ and the ratio at C: H = 1: 1. These results are in accordance with the references used.

Keywords: Plastic detector, Polystyrene, PTP, POPOP, Dopant, Shifter.

1. PENDAHULUAN

Kegiatan rekayasa pembuatan detektor sintilasi plastik merupakan bagian dari kegiatan rekayasa Portal Monitor Radiasi (*Radiation Portal Monitor*) – *Detektor Plastik*. Keberadaan semua bahan beradiasi nuklir yang beredar di suatu negara harus terdeteksi dan terpantau sesuai dengan standar peraturan, administrasi, dan keselamatan yang tinggi untuk memastikan bahwa peredaran bahan beradiasi tersebut dilakukan secara aman dan selamat. Pemanfaatan bahan radioaktif oleh kalangan industri seperti rumah sakit untuk *radio therapy*, pabrik kertas untuk mengukur densitas kertas, dan perusahaan industri yang menggunakan NDT *radiography* untuk uji tak merusak dan lain-lain. Pemanfaatan bahan radioaktif khususnya *radiography* secara umum mempunyai mobilitas dan pergerakan yang sangat tinggi karena sifat pekerjaannya yang sering berpindah-pindah, baik antar pabrik maupun antar pulau. Dengan semakin luasnya pemakaian bahan radiaktif di berbagai fasilitas industri dan kesehatan, perlu

penanganan dan pengamanan bahan radioaktif tersebut secara nyata. Untuk memantau pergerakan bahan radioaktif ini diperlukan monitor radiasi yaitu portal monitor radiasi, salah satunya dengan detektor plastik sintilasi.

Dalam makalah ini, akan dibahas tentang kebutuhan material yang diperlukan dalam pembuatan detektor plastik sintilasi. Data hasil analisis ini akan digunakan sebagai pertimbangan dalam proses pembuatan detektor plastik sintilasi.

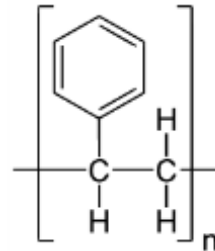
2. DASAR TEORI

Pembuatan detektor plastik sintilasi dilakukan dengan bahan dasar *polystyrene* yang dicampur dengan bahan lain yaitu PTP (*para-Terphenyl*) sebagai *dopant* primer dan POPOP sebagai *dopant* sekunder serta gas inert N_2 ^[1, 2] sebagai penghilang oksigen dan gas terlarut yang terperangkap selama proses pembuatan. Kebutuhan bahan yang diperlukan untuk pembuatan detektor plastik sintilasi berbahan dasar *polystyrene* ini ditentukan secara kuantitatif berdasarkan sifat teknis masing-masing bahan. Sifat teknis bahan yang digunakan untuk membuat detektor plastik sintilasi dan spesifikasi teknis plastik sintilasi diperoleh dari sejumlah referensi.

2.1. Polystyrene

Polystyrene (PS) adalah jenis polimer jenis termoplastik yang digunakan pada pembuatan sintilator plastik. *Polystyrene* yang digunakan berwujud kristal bening berukuran 2 – 5 mm. *Polystyrene* jenis ini berwarna transparan, bersifat kaku, dan agak rapuh. Sifat kimia *polystyrene* sebagai berikut^[3]:

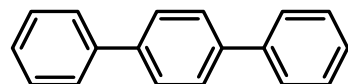
Berat Molekul	:	13300 – 18700	g/mol
Nama IUPAC	:	Poly(1-phenylethene)	
Densitas	:	1,04 – 1,05	g/cm ³
Titik Leleh	:	180 – 260	°C
Warna	:	Transparan, putih	
Bentuk Senyawa	:	Pelet	
Solubilitas dalam air	:	Tidak larut	
Molar Heat Capacity	:	123 – 127	J/mol.K
Konduktivitas termal	:	0,35	W/mK
Thermal expansion	:	9,10 – 12,6 x 10 ⁻⁵	cm/cm(°C)



2.2. PTP

1,4-Diphenylbenzene atau *para-Terphenyl* yang dikenal sebagai PTP merupakan kelompok hidrokarbon aromatik yang terikat erat, sehingga memiliki titik leleh cukup tinggi. PTP digunakan sebagai bahan tambahan yaitu *dopant* primer yang berfungsi untuk menyerap gelombang elektromagnetik energi tinggi (radiasi gamma) dan memancarkan kembali secara fluoresensi pada kisaran gelombang Ultra Violet. Berikut properti fisik dan kimia dari PTP^[4].

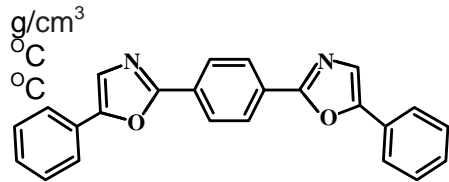
Rumus Kimia	:	C ₁₈ H ₁₄	
Berat Molekul	:	230,3	g/mol
Nama IUPAC	:	1,4-Diphenylbenzene	
Densitas	:	1,24	g/cm ³
Titik Leleh	:	212 - 213	°C
Titik didih	:	389	°C
Warna	:	Putih	
Solubilitas	:	Tidak larut dalam air	
		Larut dalam benzene panas dan ethyl alcohol panas	
Refractive Index	:	1,6165	



2.3. POPOP

1 POPOP atau 1,4-bis (5-phenyloxazol-2-yl)benzene adalah *scintillator* yang digunakan sebagai *shifter* panjang gelombang yang berfungsi mengubah cahaya tampak dengan panjang gelombang pendek menjadi cahaya dengan panjang gelombang lebih panjang. Bahan berpendar secara fosforesensi dan spektrum cahaya tersebut memuncak pada panjang gelombang 410 nm, yaitu sinar ungu. Sifat-sifat POPOP^[5] sebagai berikut.

Rumus Kimia	:	C ₂₄ H ₁₆ N ₂ O ₂	
Berat Molekul	:	364,406	g/mol
Nama IUPAC	:	5-phenyl-2-[4-(5-phenyl-1,3-oxazol-2-yl)phenyl]-1,3-oxazole	
Densitas	:	1,204	g/cm ³
Titik Leleh	:	242 – 246	
Titik didih	:	585,1	
Warna	:	Kuning	
Bentuk Senyawa	:	padat	



2.4 PLASTIK SINTILASI

Plastik sintilasi dengan bahan dasar *polystyrene* digunakan untuk mendeteksi radiasi α , β , γ , *x-ray*, dan neutron cepat. Sintilator dari bahan *polystyrene* ini memiliki standar sebagai berikut^[6].

Densitas	:	1,06	g/cm ³
Refractive index	:	1.6	
Absorption coefficient	:	0,002 – 0,005	cm ⁻¹
Softening temperature	:	355 – 360	K
Light output	:	56 % anthracene	
Rise time	:	0,9	ns
Decay time	:	2 – 3	ns
Number of H	:	4,91 x 10 ²²	per cm ³
Number of C	:	4,91 x 10 ²²	per cm ³
Ratio H : C	:	1	
Number of electron	:	3,44 x 10 ²³	per cm ³
Wavelength	:	418	nm (maximum emission)
Tensile stress	:	41	MPa
Tensile strength	:	41	MPa
Tensile modules	:	3900	MPa
Bending strength	:	61	MPa
Bending modules	:	3900	MPa
Compressive strength	:	51	MPa
Compressive modules	:	1500	MPa

3. TATA KERJA

Tahapan analisis kuantitatif yaitu menentukan densitas-densitas rata-rata (ρ) campuran bahan, penyusutan volume ($\frac{\Delta V}{V}$), massa total bahan (m), jumlah atom C, jumlah atom H dan nilai perbandingan C : H menggunakan penurunan persamaan sebagai berikut:

Perhitungan Densitas Campuran

$$m = m_1 + m_2 + m_3$$

dengan asumsi tidak terjadi penyusutan volume, maka berlaku:

$$\begin{aligned}
 V &= V_1 + V_2 + V_3 \\
 \frac{m}{\rho} &= \frac{m_1}{\rho_1} + \frac{m_2}{\rho_2} + \frac{m_3}{\rho_3} \\
 \rho &= \left(\frac{\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot \rho_3}{m_1 \cdot \rho_2 \cdot \rho_3 + m_2 \cdot \rho_1 \cdot \rho_3 + m_3 \cdot \rho_1 \cdot \rho_2} \right) m \quad (1)
 \end{aligned}$$

m_1 = massa PS (gram)
 m_2 = massa PTP (gram)
 m_3 = massa POPOP (gram)

ρ_1 = densitas PS (g/cm³)
 ρ_2 = densitas PTP (g/cm³)
 ρ_3 = densitas POPOP (g/cm³)

Perhitungan Penyusutan Volume

$$\begin{aligned}
 \frac{\Delta V}{V} &= \frac{V - V_d}{V} \\
 &= 1 - \frac{V_d}{V} \quad \text{karena} \quad V = \frac{m}{\rho} \quad \text{dan} \quad V_d = \frac{m}{\rho_d} \\
 \frac{\Delta V}{V} &= 1 - \frac{\rho}{\rho_d} \quad (2)
 \end{aligned}$$

m = massa total percobaan (gram)
 V = Volume hasil perhitungan (cm³)
 ΔV = Penyusutan volume (cm³)
 ρ = densitas hasil perhitungan (g/cm³)
 ρ_d = densitas data referensi (g/cm³)

Perhitungan Massa Total Bahan Yang Digunakan

Untuk benda bentuk silinder $V = \frac{1}{4} \pi D^2 \times H$
 Untuk benda bentuk balok $V = L \times W \times H$

$m = \rho \times V \times (1 + sf)$

D = diameter (cm)
 L = Panjang (cm)
 W = Lebar (cm)
 H = tinggi (cm)
 sf = *safety factor*

Perhitungan jumlah atom C, jumlah atom H dan perbandingan C : H

Perhitungan menggunakan dasar konsep mol, yaitu 1 mol suatu atom setara dengan $6,02 \times 10^{23}$ atom/mol (bilangan Avogadro).

Untuk *polystyrene* (PS) digunakan $n = 150$ dengan rumus molekul $(C_8H_8)_n$

Atom C sebanyak 1200

Atom H sebanyak 1200

Berat molekul 15600 g/mol.
Untuk PTP dengan rumus molekul $C_{18}H_{14}$
Atom C sebanyak 18
Atom H sebanyak 14.

Untuk POPOP dengan rumus molekul $C_{24}H_{16}N_2O_2$,
Atom C sebanyak 24
Atom H sebanyak 16

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil kegiatan analisis kuantitatif pembuatan detektor plastik sintilasi dengan berbagai perbandingan material sebagai berikut:

Perbandingan massa material PS : PTP : POPOP = $m_1 : m_2 : m_3$

Untuk $m_1 : m_2 : m_3 = 100 : 1 : 0,01$

Perhitungan densitas campuran menggunakan Persamaan (1) diperoleh hasil sebagai berikut:

$$\rho = \left(\frac{1,05 \times 1,24 \times 1,204}{100 \times 1,24 \times 1,204 + 1 \times 1,05 \times 1,204 + 0,01 \times 1,05 \times 1,24} \right) 101,01$$
$$= 1,05161 \text{ g/cm}^3$$

Dengan cara yang sama untuk beberapa perbandingan massa PS : PTP : POPOP yang berbeda diperoleh hasil densitas campuran seperti tampak pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Densitas Campuran Dengan Variabel PTP 1 Gram

No	PS (gram)	PTP (gram)	POPOP (gram)	ρ campuran (g/cm^3)
1.	100	1	0,01	1,05161
2.	100	1	0,02	1,05162
3.	100	1	0,03	1,05164
4.	100	1	0,04	1,05165
5.	100	1	0,05	1,05166

Densitas campuran rata-rata $1,0516 \text{ g/cm}^3$

Tabel 2. Densitas Campuran Dengan Variabel PTP 2 Gram

No	PS (gram)	PTP (gram)	POPOP (gram)	ρ campuran (g/cm^3)
1.	100	2	0,01	1,05318
2.	100	2	0,02	1,05319
3.	100	2	0,03	1,05320
4.	100	2	0,04	1,05321
5.	100	2	0,05	1,05322

Densitas campuran rata-rata $1,0532 \text{ g/cm}^3$

Dari hasil perhitungan dengan berbagai perbandingan diperoleh densitas campuran rata-rata $\rho = 1,0524 \text{ g/cm}^3$, nilai di bawah $\rho_d = 1,06 \text{ g/cm}^3$ data ini menunjukkan bahwa terjadi penyusutan volume pada proses pembuatan plastik sintilasi.

Penyusutan volume dihitung dengan menggunakan Persamaan (2) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{\Delta V}{V} &= 1 - \frac{\rho}{\rho_d} \\ &= 1 - \frac{1,0524}{1,06} \\ &= 0,0072 \end{aligned}$$

Prosentase penyusutan volume sebesar 0,72 %

Perhitungan massa total bahan yang digunakan untuk percobaan pendahuluan pembuatan plastik sintilasi.

Dimensi plastik sintilasi yang direncanakan dalam percobaan berdiameter $D=10 \text{ cm}$ dan tinggi $H=10 \text{ cm}$.

Diperoleh volume	V	$= \frac{1}{4} \pi D^2 \times H$	
		$= \frac{1}{4} \pi 10^2 \times 10$	
		$= 785$	cm^3
digunakan	sf	$= 5\%$	
Massa	m	$= 1,0524 \times 785 \times 1,05$	
		$= 867,4407 \text{ gram}$	
Digunakan massa total	m	$= 900$	gram
Volume	V	$= 900 / 1,0524$	
		$= 855,19$	cm^3

Perhitungan jumlah atom C dan atom H dalam campuran.

Untuk perbandingan massa $m_1 : m_2 : m_3 = 100 : 1 : 0,01$ diperlukan massa bahan masing-masing :

m_1 (PS)	$= 890 \text{ gram}$
m_2 (PTP)	$= 9 \text{ gram}$
m_3 (POPO)	$= 1 \text{ gram}$

Hasil perhitungan jumlah atom C dan atom H untuk berbagai perbandingan ditunjukkan pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Jumlah Atom C dan H Untuk PS 100 dan PTP 1

$m_1 : m_2 : m_3$	PS (gram)	PTP (gram)	POPOP (gram)	Σ Atom C Mol	Σ Atom H Mol
100 : 1 : 0,01	890,000	9,000	1,000	69,231	69,053
100 : 1 : 0,02	890,913	8,909	0,178	69,240	69,082
100 : 1 : 0,03	890,825	8,908	0,267	69,239	69,078
100 : 1 : 0,04	890,736	8,907	0,356	69,238	69,075
100 : 1 : 0,05	890,648	8,906	0,445	69,237	69,072
				346,185	345,360

$$\begin{aligned} \text{Jumlah rata-rata atom C} &= 69,237 && \text{mol} \\ &= 416,807 \times 10^{23} && \text{atom} \\ &= 4,87 \times 10^{22} && \text{atom/cm}^3 \\ \text{Jumlah rata-rata atom H} &= 68,94 && \text{mol} \\ &= 415,813 \times 10^{23} && \text{atom} \\ &= 4,86 \times 10^{22} && \text{atom/cm}^3 \end{aligned}$$

Tabel 4. Jumlah Atom C dan H Untuk PS 100 dan PTP 2

$m_1 : m_2 : m_3$	PS (gram)	PTP (gram)	POPOP (gram)	Σ Atom C Mol	Σ Atom H Mol
100 : 2 : 0,01	882,266	17,645	0,088	69,252	68,943
100 : 2 : 0,02	882,180	17,644	0,176	69,251	68,940
100 : 2 : 0,03	882,094	17,642	0,265	69,250	68,937
100 : 2 : 0,04	882,007	17,640	0,352	69,249	68,935
100 : 2 : 0,05	882,921	17,638	0,441	69,248	68,932
				346,250	344,687

$$\begin{aligned} \text{Jumlah rata-rata atom C} &= 69,250 && \text{mol} \\ &= 416,885 \times 10^{23} && \text{atom} \\ &= 4,87 \times 10^{22} && \text{atom/cm}^3 \\ \text{Jumlah rata-rata atom H} &= 68,94 && \text{mol} \\ &= 415,003 \times 10^{23} && \text{atom} \\ &= 4,85 \times 10^{22} && \text{atom/cm}^3 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diperoleh jumlah atom C = $4,87 \times 10^{22}$ atom/cm³ dan jumlah atom H = $4,86 \times 10^{22}$ atom/cm³.

Nilai perbandingan jumlah atom C dan jumlah atom H dalam campuran adalah 1,0021 : 1, nilai perbandingan ini setara dengan 1 : 1 dan sesuai dengan referensi.

5. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan pembahasan di atas, dapat disimpulkan bahwa, hasil perhitungan teknis densitas campuran *polystyrene* (PS), PTP, dan POPOP pada beberapa perbandingan menghasilkan densitas campuran sebesar 1,0524 g/cm³ dan terjadi penyusutan volume sebesar 0,72%. Untuk mengantisipasi penyusutan tersebut, dalam percobaan perlu ditambahkan faktor keselamatan sebesar 5%. Kebutuhan bahan dalam percobaan adalah 900 gram untuk berbagai perbandingan dan diperoleh jumlah atom C = $4,87 \times 10^{22}$ atom/cm³ dan jumlah atom H = $4,6 \times 10^{22}$ atom/cm³ dengan perbandingan C : H = 1 : 1. Secara teoritis hasil perhitungan teknis ini sesuai dengan data referensi yang digunakan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Pla-Dalmou A, Bross AD, dan Kerry LM, 1999, "Extruded Plastic Scintillator Detector.", Fermi National Accelerator Laboratory.
- [2]. Artikov, A. dkk., "Properties of the Ukraine Polystyrene-Base Plastic Scintillator UPS 923A," Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 555 ,2005.
- [3]. <https://en.wikipedia.org/wiki/Polystyrene> diakses pada tanggal 8 April 2020
- [4]. https://m.chemicalbook.com/ProductMSDSDetailCB3693821_EN.htm diakses pada tanggal 12 Mei 2020

- [5]. https://www.chemicalbook.com/ChemicalProductProperty_US_CB7108372.aspx diakses pada tanggal 4 Juni 2020
- [6]. Amcrys-H, "Informasi tentang polystyrene plastic scintillator." Diakses pada tanggal 11 Juni 2020 pada http://www.amcrys.com/pdf/4286_.pdf
- [7]. Kaplon, L., "Synthesis and Characterization of Polystyrene Scintillators and Their Application in Positron Emission Tomography", Aleksander Krupkowski Institute of Metallurgy and Materials Science, Polish Academy of Sciences, 2017.

-oOo-