

# RESPON LARUTAN NANOPARTIKEL CeO<sub>2</sub> TERHADAP RADIASI SINAR GAMMA DOSIS RENDAH

Iis Nurhasanah, Aldilla Lutfia dan Zaenal Arifin

Departemen Fisika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro Semarang

Jl. Prof. H. Sudharto, S.H Semarang; Email: [nurhasanah@fisika.undip.ac.id](mailto:nurhasanah@fisika.undip.ac.id)

## Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji respon larutan nanopartikel CeO<sub>2</sub> terhadap radiasi sinar gamma dosis rendah. Nanopartikel CeO<sub>2</sub> disintesis menggunakan metode presipitasi. Struktur dan sifat optis nanopartikel CeO<sub>2</sub> dianalisis menggunakan difraktometri sinar-X dan spektrofotometer UV Vis. Larutan nanopartikel CeO<sub>2</sub> dengan konsentrasi berbeda diradiasi dengan sinar gamma dari sumber Co-60 teletherapy. Pola difraksi menunjukkan pembentukan nanopartikel CeO<sub>2</sub> dengan ukuran kristalit 9,9 nm. Analisis absorbansi larutan nanopartikel CeO<sub>2</sub> menunjukkan perubahan absorbansi linier terhadap peningkatan dosis. Konsentrasi larutan tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap respon larutan nanopartikel CeO<sub>2</sub> terhadap radiasi sinar gamma. Larutan nanopartikel CeO<sub>2</sub> dapat digunakan untuk mengukur radiasi sinar gamma dengan rentang dosis 0,5 – 2,5 Gy.

**Kata kunci:** CeO<sub>2</sub>, absorbansi, radiasi gamma.

## Abstract

*This study aims to examine the response of CeO<sub>2</sub> nanoparticle solutions to gamma radiation with low dose. CeO<sub>2</sub> nanoparticles were synthesized using the precipitation method. The structure and optical properties of CeO<sub>2</sub> nanoparticles were analyzed using X-ray diffractometry and UV Vis spectrophotometer. CeO<sub>2</sub> nanoparticles solution with different concentration were irradiated by gamma rays from Co-60 teletherapy. The diffraction pattern showed the formation of CeO<sub>2</sub> nanoparticles with crystallite size of 9.9 nm. Analysis of the absorbance of CeO<sub>2</sub> nanoparticle solutions showed absorbance changes linearly with increasing doses. The concentration of the solution did not have a significant effect on the response of CeO<sub>2</sub> nanoparticle solutions to gamma radiation. CeO<sub>2</sub> nanoparticles can be used to measure gamma radiation with a dose range of 0.5 - 2.5 Gy.*

**Keywords:** CeO<sub>2</sub>, absorbance, gamma radiation.

## 1. PENDAHULUAN

Radiasi pengion seperti sinar gamma telah dimanfaatkan dalam bidang kedokteran untuk radioterapi. Pemanfaatan sinar gamma dalam radioterapi memerlukan pengukuran dosis yang tepat untuk mencegah dan meminimalkan efek samping pada pengguna maupun pekerja terapi. Dosimetri radiasi berperan penting dalam kualitas kontrol proses radiasi (Rivera-Montalvo, 2014). Dosimeter berbasis larutan kimia ferrous sulfate yang disebut juga dengan dosimeter Fricke merupakan dosimeter standar yang telah digunakan dalam dosimetri radiasi. Dosimeter Fricke memiliki sensitivitas tinggi dan akurasi yang baik terhadap sinar-X dan sinar gamma untuk dosis tinggi. Dosimeter Fricke mengukur sinar gamma dari sumber Co-60 terbatas pada rentang dosis 5-25 Gy (Moussous, dkk. 2011). Selain dosimeter Fricke, dosimeter larutan kimia ceric-cerous juga digunakan untuk mengukur dosis serap sinar gamma tetapi hanya pada rentang dosis 1 kGy – 50 kGy (Mortuza, dkk., 2018). Kedua jenis dosimeter tersebut memiliki keterbatasan mengukur radiasi sinar gamma dengan dosis rendah. Dosimeter Fricke dimodifikasi dengan

xylenol orange untuk mengukur dosis rendah (Mhatre, dkk. 2012; Moussous, dkk., 2011).

Pengembangan dan aplikasi nanomaterial pada berbagai bidang telah menjadi kajian menarik dalam lingkup nanosain dan nanoteknologi. Beberapa penelitian mengeksplorasi nanomaterial in-organik sebagai dosimeter termoluminisensi (TLD) untuk radiasi pengion. Rentang dosis yang dapat diukur TLD bergantung pada sensitivitas dan respon nanomaterialnya, tidak dapat mengukur dosis rendah dan dosis tinggi (Salah, 2011). Berbagai nanomaterial TLD didoping dengan cerium untuk meningkatkan karakteristiknya (Ravikumar, dkk; 2014; Zahedifar, dkk., 2013). Oksida cerium (CeO<sub>2</sub>) telah dikaji untuk sensor radiasi sinar gamma dalam bentuk *thick film p-n junction* (Arshak dan Korostynska, 2004). Selain itu, larutan CeO<sub>2</sub> *nanowire* menunjukkan sensitivitas tinggi terhadap sinar gamma dari sumber <sup>137</sup>Cs untuk dosis dalam orde μGy (Li, dkk., 2013). CeO<sub>2</sub> dikembangkan untuk dosimeter berbasis larutan, karena memiliki dua keadaan oksidasi Ce<sup>3+</sup> dan Ce<sup>4+</sup> yang bersesuaian dengan sifat optisnya. Dua keadaan oksidasi tersebut menunjukkan puncak absorpsi pada

panjang gelombang 230-260 nm untuk  $Ce^{3+}$  dan 300-400 nm untuk  $Ce^{4+}$ . Ketika larutan  $CeO_2$  diradiasi sinar gamma, akan terjadi perubahan keadaan oksidasi yang menyebabkan perubahan absorbansi larutan  $CeO_2$ . Selanjutnya, perubahan absorbansi menentukan respon larutan nanopartikel  $CeO_2$  terhadap radiasi sinar gamma.

Pada penelitian ini, dikaji respon larutan nanopartikel  $CeO_2$  terhadap radiasi sinar gamma untuk dosis rendah. Larutan nanopartikel  $CeO_2$  dengan konsentrasi 0,125 mg/mL dan 0,25 mg/mL diradiasi sinar gamma dengan dosis 0-3 Gy. Absorbansi larutan nanopartikel  $CeO_2$  diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis. Respon larutan nanopartikel  $CeO_2$  ditentukan berdasarkan perubahan absorbansi larutan nanopartikel  $CeO_2$  sebelum diradiasi dan setelah diradiasi sinar gamma.

## 2. METODE

### Bahan dan Alat

Cerium nitrate hexahydrate (Sigma Aldrich) sebagai prekursor cerium, Ammonium hidroksida (Merck) sebagai *precipitant*, isopropanol (Merck) dan Aquabides (PT Ikhaparmindo Putramas) sebagai pelarut. *Ultrasonic bath* untuk membuat larutan nanopartikel  $CeO_2$ . Cobalt 60 Teletherapy dengan energi 1,30 MeV sebagai sumber radiasi sinar gamma. *X-ray diffractometer* PW1710 (Philips) digunakan untuk menganalisis struktur nanopartikel  $CeO_2$ . Spektrofotometer UV-Vis mini 1240 (Shimadzu) digunakan untuk mengukur absorbansi larutan nanopartikel  $CeO_2$ .

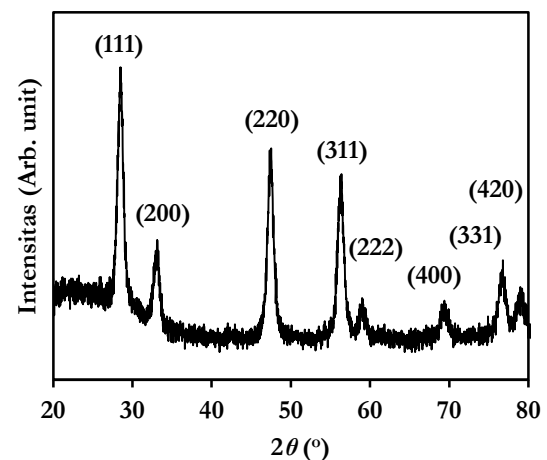
### Metode penelitian

Nanopartikel  $CeO_2$  disintesis menggunakan metode presipitasi dengan temperatur kalsinasi 500°C (Nurhasanah, dkk., 2014). Struktur kristal nanopartikel  $CeO_2$  dianalisis menggunakan *X-ray diffractometer*. Larutan nanopartikel  $CeO_2$  dibuat dengan melarutkan nanopartikel  $CeO_2$  dalam aquabides dengan konsentrasi 0,125 mg/ml dan 0,25 mg/ml. Larutan diradiasi dengan gelombang ultrasonik menggunakan *ultrasonic bath* dengan frekuensi 40 kHz selama 20 menit. Larutan nanopartikel  $CeO_2$  dengan volume 5 ml dimasukkan ke dalam botol kaca. Selanjutnya larutan nanopartikel  $CeO_2$  diradiasi sinar gamma dengan dosis 0-3 Gy dengan interval 0,5. Absorbansi larutan nanopartikel  $CeO_2$  sebelum dan sesudah diradiasi sinar gamma diukur menggunakan spektrofotometer UV-Vis.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

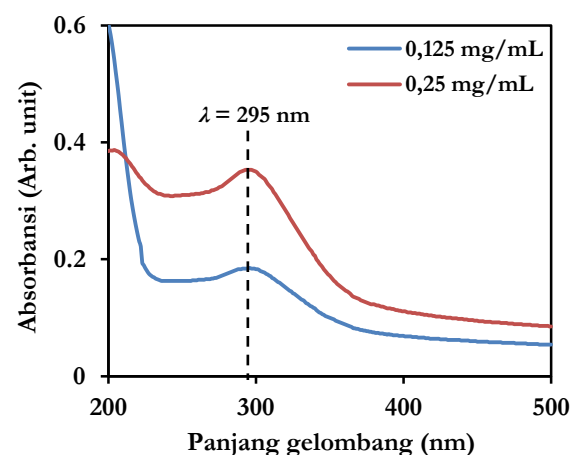
Struktur nanopartikel  $CeO_2$  dianalisis berdasarkan pola difraksi sinar-X yang ditunjukkan pada Gambar 1. Puncak-puncak difraksi yang teramati bersesuaian

dengan bidang-bidang struktur kubik fluorite  $CeO_2$  (JCPDS- No. 34-394). Ukuran kristalit nanopartikel  $CeO_2$  dihitung menggunakan Persamaan Scherrer dan konstanta kisi kubik untuk puncak difraksi dominan (111) berturut-turut adalah 9,9 nm dan 0,5418 nm.



**Gambar 1.** Pola difraksi sinar-X nanopartikel  $CeO_2$

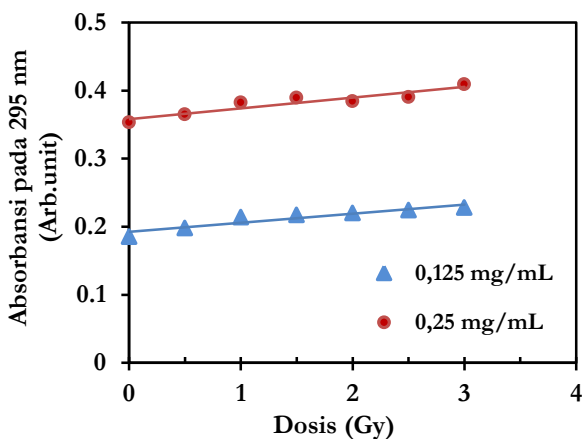
Spektrum absorbansi larutan nanopartikel  $CeO_2$  dengan konsentrasi 0,125 mg/mL dan 0,25 mg/mL ditunjukkan pada Gambar 2. Puncak absorbansi teramati pada panjang gelombang 295 nm yang bersesuaian dengan karakteristik  $CeO_2$  ( $Ce^{4+}$ ) (Babitha, dkk., 2014; Ying-ying, dkk., 2013). Larutan nanopartikel  $CeO_2$  dengan konsentrasi 0,25 mg/mL memiliki absorbansi 0,353 hampir dua kali lebih besar dari absorbansi larutan nanopartikel  $CeO_2$  dengan konsentrasi 0,125 mg/mL yaitu 0,185. Peningkatan absorbansi tersebut konsisten dengan hukum Beer-Lambert yang menyatakan bahwa absorbansi suatu larutan sebanding dengan konsentrasi larutan. Selanjutnya absorbansi pada panjang gelombang 295 nm digunakan untuk menganalisis respon larutan nanopartikel  $CeO_2$  terhadap radiasi sinar gamma.



**Gambar 2.** Spektrum absorbansi larutan nanopartikel  $CeO_2$

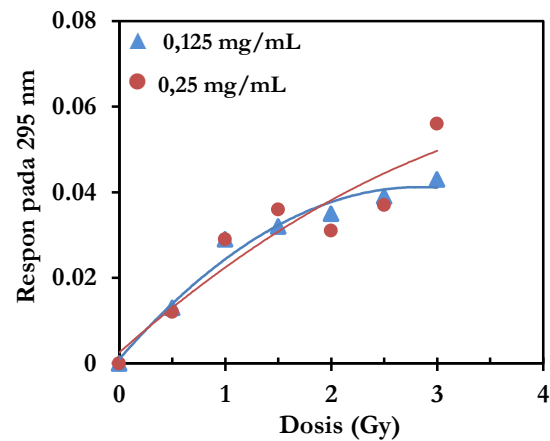
Co-60 merupakan sumber radiasi sinar gamma yang biasa digunakan di industri dan kedokteran. Co-60 memancarkan dua sinar gamma dengan energi 1,17

MeV dan 1,33 MeV. Pada penelitian ini, larutan nanopartikel CeO<sub>2</sub> diradiasi sinar gamma dari sumber Co-60 teletherapy dengan energi 1,30 MeV yang digunakan dalam terapi kanker. Radiasi sinar gamma dilakukan dengan variasi dosis 0-3 Gy. Gambar 3 menunjukkan absorbansi pada panjang gelombang ( $\lambda$ ) 295 nm dari larutan nanopartikel CeO<sub>2</sub> setelah diradiasi dengan dosis 0-3 Gy. Absorbansi larutan nanopartikel CeO<sub>2</sub> bertambah linier terhadap peningkatan dosis radiasi. Peningkatan absorbansi teramati juga pada nanopartikel CeO<sub>2</sub> yang diradiasi 8 MeV electron beam (Babitha, dkk., 2014). Laju pertambahan absorbansi  $1,34 \times 10^{-3}/\text{Gy}$  dan  $1,57 \times 10^{-3}/\text{Gy}$  untuk larutan nanopartikel CeO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 0,125 mg/mL dan 0,25 mg/mL. Hal tersebut menunjukkan bahwa larutan nanopartikel CeO<sub>2</sub> dapat digunakan untuk mengukur radiasi sinar gamma dalam rentang dosis 0-3 Gy.



**Gambar 3.** Absorbansi larutan nanopartikel CeO<sub>2</sub> yang diradiasi sinar gamma

Prinsip kerja dosimeter berbasis larutan berdasarkan pada proses radiolisis dari interaksi sinar gamma dengan air dalam larutan. Proses radiolisis menghasilkan radikal bebas yang akan berinteraksi dengan spesies-spesies dalam larutan menghasilkan perubahan kimia dan menginduksi perubahan sifat optis larutan. Perubahan tersebut dapat diamati dengan mengukur absorbansi larutan. Derajat perubahan kimia bersesuaian dengan dosis yang diserap oleh larutan. Pada larutan nanopartikel CeO<sub>2</sub>, fenomena tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut. Cerium dengan keadaan oksidasi Ce<sup>3+</sup> dan Ce<sup>4+</sup> terdapat dalam nanopartikel CeO<sub>2</sub>. Permukaan nanopartikel CeO<sub>2</sub> dilindungi oleh ion Ce<sup>3+</sup>. Radikal bebas yang dihasilkan dari proses radiolisis berinteraksi dengan Ce<sup>3+</sup> membentuk Ce<sup>4+</sup>. Secara bersamaan Ce<sup>4+</sup> juga berinteraksi dengan radikal bebas membentuk Ce<sup>3+</sup>. Proses tersebut berlangsung terus menerus dan menginduksi perubahan absorbansi larutan nanopartikel CeO<sub>2</sub> (Babitha, dkk., 2014; Ying-ying, dkk., 2013).



**Gambar 4.** Respon larutan nanopartikel CeO<sub>2</sub> terhadap radiasi sinar gamma

Respon larutan nanopartikel CeO<sub>2</sub> dianalisis berdasarkan grafik perubahan absorbansi terhadap dosis radiasi seperti tampak pada Gambar 4. Perubahan absorbansi terhadap kenaikan dosis dapat direpresentasikan dengan fungsi polinom orde-2 yang dituliskan pada Persamaan (1).

$$y = a + bx + cx^2 \quad (1)$$

dengan  $y$  adalah perubahan absorbansi dan  $a$ ,  $b$  dan  $c$  adalah parameter konstanta persamaan. Parameter konstanta  $a$ ,  $b$  dan  $c$  untuk larutan nanopartikel CeO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 0,125 mg/mL, berturut-turut adalah  $1,0 \times 10^{-3}$ ,  $2,84 \times 10^{-2}$ , dan  $-5,0 \times 10^{-3}$  dengan koefisien korelasi ( $R^2$ ) sama dengan 0,9737. Parameter konstanta  $a$ ,  $b$  dan  $c$  untuk larutan nanopartikel CeO<sub>2</sub> dengan konsentrasi 0,25 mg/mL, berturut-turut adalah  $2,5 \times 10^{-3}$ ,  $2,2 \times 10^{-2}$ , dan  $-2,1 \times 10^{-3}$  dengan koefisien korelasi ( $R^2$ ) sama dengan 0,8867. Kedua larutan nanopartikel CeO<sub>2</sub> menunjukkan respon yang hampir sama terhadap radiasi sinar gamma pada dosis 0,5-2,5 Gy. Dengan demikian kedua konsentrasi larutan nanopartikel CeO<sub>2</sub> dalam penelitian ini dapat digunakan untuk mengukur radiasi sinar gamma dengan dosis 0,5-2,5 Gy.

#### 4. SIMPULAN

Respon larutan nanopartikel CeO<sub>2</sub> terhadap radiasi sinar gamma telah dikaji untuk dosis 0-3 Gy dari sumber Co-60. Respon larutan nanopartikel CeO<sub>2</sub> dengan konsentrasi berbeda dapat direpresentasikan dengan persamaan polinom orde-2. Konsentrasi larutan nanopartikel CeO<sub>2</sub> tidak mempengaruhi respon terhadap radiasi sinar gamma pada rentang dosis 0,5-2,5 Gy. Hasil penelitian menunjukkan bahwa larutan nanopartikel CeO<sub>2</sub> dapat digunakan sebagai dosimeter radiasi gamma untuk rentang dosis 0,5-3 Gy.

#### 5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Direktorat Jendral

Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia atas pembiayaan penelitian Hibah Bersaing dengan No. Kontrak 022/SP2H/LT/DRPM/II/2016.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- Arshak, K., Korostynska, O. 2004. Thick film oxide diode structures for personal dosimetry application. *Sensor Actuat. A*. 113. 319-323
- Babitha, K.K., Priyanka, K.P., Sreedevi, A., Ganesh, S., Varghese, T. Effect of 8 MeV electron beam irradiation on the structural and optical properties of CeO<sub>2</sub> nanoparticles. *Mater. Charact.* 98. 222-227
- Mhatre, S.G.V., Adhikari, S. 2012. Development of new chemical dosimeter for low dose range. *Radiat. Meas.* 47. 430-433
- Moussous, O, Khoudri, S and Benguerba, M 2011. Characterization of Fricke dosimeter at high energy photon and electron beams used in radiotherapy. *Australas. Phys. Eng. Sci. Med.* 34 523-528
- Moussous, O., Medjadj, T., Benguerba, M. 2011. FBX aqueous chemical dosimeter for measurement of dosimetric parameters. *Appl. Radiat. Isot.* 69. 399-402
- Mortuza, Md F., Lepore, L., Khedkar, K., Thangam, S., Nahar, A., Jamil, H.M., Bandi, L., Alam, Md K. 2018. Commissioning dosimetry and in situ dose mapping of a semi-industrial Cobalt-60 gamma-irradiation facility using Fricke and Ceric-cerous dosimetry system and comparison with Monte Carlo simulation data. *Radiat. Phys. Chem.* 144. 256-264
- Nurhasanah, I, Sutanto, H., Futhikaningtyas, R. 2014. Optical properties of Zn-doped CeO<sub>2</sub> nanoparticles as function of Zn content. *Adv. Mater. Res.* 896. 108-111
- Ravikumar, B.S., Nagabhushana, H., Sharma, S.C., Nagabhushana, B.M. 2014. Low temperature synthesis, structural and dosimetric characterization of ZnAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Ce<sup>3+</sup> nanophosphor. *Spectrochim. Acta A*. 122. 489-498
- Rivera-Montalvo, T. 2014. Radiation therapy dosimetry system. *Appl. Radiat. Isot.* 83. 204-209
- Salah, N., 2011. Nanocrystalline materials for the dosimetry of heavy charged particles: A review. *Radiat. Phys. Chem.* 80. 1-10
- Ying-ying, L., Dong, X., Hai-qian, Z. 2013. CeO<sub>2</sub> nanowires aqueous  $\gamma$ -radiation dosimeter for low dose sensitively detecting. *Procedia Eng.* 52. 202-207
- Zahedifar, M., Sadeghi, E., Mozdianfard, M.R., Habibi, E. 2013. Synthesis, characteristics and thermoluminescent dosimetry features of  $\gamma$ -irradiated Ce doped CaF<sub>2</sub> nanophosphor. *Appl. Radiat. Isot.* 78. 125-131