



Sintesis dan Karakterisasi Apron Berbahan Dasar *Silicone Rubber* dengan Bahan Isian Fe_3O_4 dan Karbon Aktif

Nurhasmi ^{1*}, Asnaeni Ansar ², Sukmawati Said ¹

¹ Program Studi Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Makassar

² Program Studi Radiologi, Politeknik Muhammadiyah Makassar

*Corresponding: nurhasmi@unm.ac.id

Abstrak

Dalam penelitian ini, diharapkan dapat membuat apron alternative yang ringan, fleksibel, ramah lingkungan dan harga yang lebih murah dibandingkan dengan apron timbal. Apron dibuat dari bahan dasar *silicon rubber* dengan bahan isian Fe_3O_4 (F) dan karbon aktif (K) menggunakan metode *mixing*. Sampel apron dibuat dengan 6 jenis perbandingan komposisi, yaitu 1. SR: 100%, FK: 0%, 2. SR: 80%, FK: 20%, 3. SR: 70%, FK: 30%, 4. SR: 60%, FK: 40%, 5. SR: 50%, FK: 50%. Hasil dari penelitian yang telah dilakukan, penambahan bahan isian yang memiliki nilai koefisien atenuasi yang paling baik adalah pada sampel SCF_40. Sampel SCF_40 memiliki komposisi terbaik untuk pembuatan apron karena memiliki sifat fisik yang baik dan nilai koefisien atenuasi yang baik yaitu sebesar 0.240 cm^{-1} .

Kata Kunci : Apron, Fe_3O_4 , karbon, *silicon rubber*, koefisien atenuasi

PENDAHULUAN

Pengembangan radiasi ionisasi saat ini semakin berkembang karena memiliki manfaat yang besar diberbagai bidang, salah satunya adalah dibidang kesehatan. Radiasi ionisasi biasanya digunakan untuk mendiagnosis dan terapi kanker contohnya radiasi sinar X dan radiasi sinar gamma. Selain memiliki manfaat, sinar X dan sinar gamma juga dapat menyebabkan penyakit pada manusia, yaitu kanker jika dosis yang diterima manusia melewati batas ambang (National Council on Radiation Protection and Measurements. 1989). Sinar gamma lebih memiliki kemampuan menembus bahan yang lebih besar dibandingkan dengan sinar X karena tidak memiliki massa dan muatan (Azeez et al. 2014). Oleh karena itu, diperlukan pelindung terutama untuk radiographer dan staf yang berhubungan langsung dengan radiasi gamma.

Interaksi antara foton dengan partikel dalam pelindung radiasi terjadi dalam dua mekanisme yaitu mekanisme primer dan mekanisme sekunder. Mekanisme primer adalah foton pembawa muatan (elektron dan lubang) yang mengakibatkan refleksi dari foton dan mekanisme sekunder adalah interaksi antara foton dengan medan listrik dan medan magnet yang mengakibatkan penyerapan foton (Chung 2001; Nurhasmi et al. 2019). Mekanisme sekunder harus optimal untuk aplikasi pelindung radiasi, sehingga sifat kemagnetan dan sifat kelistrikannya perlu ditingkatkan. Peneliti sebelumnya menambahkan bahan Fe_3O_4 dan karbon aktif untuk meningkatkan sifat kemagnetan dan kelistrikan pada sampel pelindung radiasi (Guan et al. 2006).

Pelindung radiasi yang paling umum digunakan adalah apron timbal (Gwaily et al. 2002; Hyun et al. 2016) yang berat dan relatif mahal (Azeez et al. 2014). Penelitian mengenai apron yang ringan dan fleksibel telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya tetapi memiliki daya tahan yang buruk terhadap radiasi dan tidak dapat digunakan dalam waktu lama (Azeez et al. 2014; Gwaily et al. 2002). Oleh sebab itu dalam penelitian ini, peneliti menggunakan *silicon rubber* yang tahan radiasi dan tahan terhadap temperature tinggi (Chai et al. 2015) sebagai matriks dengan bahan isian Fe_3O_4 dan karbon aktif yang tergolong murah dan mudah didapatkan serta ramah lingkungan (Nurhasmi et al. 2021).



METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi lanjutan untuk mensintesis apron dari bahan dasar *silicone rubber* dengan bahan isian Fe_3O_4 dan karbon aktif. Penyinaran radiasi sinar X dilakukan untuk menghitung koefisien atenuasi apron. Sintesis sampel dilakukan di Universitas Negeri Makassar dan untuk mengukur koefisien atenuasi dilakukan di Politeknik Muhammadiyah Makassar dan RSKD Dadi Makassar. Fokus kajian dalam penelitian ini adalah mencari komposisi terbaik pasta apron dari bahan dasar *silicone rubber* dengan menambahkan Fe_3O_4 dan karbon aktif. Sampel Apron yang telah dibuat akan dilakukan pengujian dengan menggunakan alat CT Scan untuk mengukur koefisien atenuasi apron.

Sintesis Apron Berbahan Dasar *Silicone Rubber* dengan mempersiapkan bahan dasar yaitu *silicone rubber* dan (Fe_3O_4 + karbon aktif) dan menimbang *silicone rubber* dan Fe_3O_4 + karbon aktif (FK) dengan perbandingan : a. SR: 100%, FK:0%, b. SR: 80%, FK:20%, c. SR: 70%, FK: 30%, d. SR: 60%, FK: 40%, dan e. SR: 50%, FK: 50%. Setelah dilakukan penimbangan, semua bahan dimasukkan kedalam wadah dan diaduk selama 2 menit sampai pasta apron terbentuk. Pasta apron yang telah terbentuk kemudian dimasukkan kedalam cetakan dan didiamkan sampai kering selama 24 jam. Sampel apron yang telah kering kemudian diuji kelayakannya dengan menghitung nilai koefisien atenuasi dari sampel melalui penyinaran sinar X CT Scan. Penyerapan sinar X ditentukan dengan mengukur dosis radiasi yang diserap oleh sampel dari sumber radiasi Cs-137 di RSKD Dadi Makassar.

Pengambilan data dilakukan dengan mengekspose sampel hingga nilai HU terbaca pada layar monitor. Nilai HU yang diperoleh dimasukkan ke persamaan 1 untuk mendapatkan nilai koefisien atenuasi masing-masing sampel. Radiasi sinar X akan berkurang disebabkan adanya penyerapan radiasi oleh sampel. Besarnya penyerapan radiasi dilihat pada besarnya nilai koefisien atenuasi (Ansar et al. 2019; Gwon et al. 2018) (μ) (cm^{-1}) yang diperoleh dari persamaan berikut:

$$\mu_j = \left[\frac{\text{CT Number (HU)} \times \mu_a}{1000} \right] + \mu_a \quad (1)$$

Di mana :

μ_j = koefisien atenuasi apron (cm^{-1})

μ_a = koefisien atenuasi air (cm^{-1}) = 0.21 cm^{-1}

Half Value Layer (HVL), (m). Nilai HVL dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{HVL} = \frac{0.693}{\mu} \quad (2)$$

Mean Free Path (MFP), (m). Nilai MFP dapat dihitung dengan persamaan :

$$\text{MFP} = \frac{1}{\mu} \quad (3)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dasar mengenai alternative apton telah dilakukan. Alternatif apron terbuat dari bahan dasar *silicone rubber* yang memiliki sifat elastisitas yang baik untuk aplikasi apron. Selain memiliki sifat elastisitas yang baik, *silicone rubber* memiliki sifat ketahanan panas, ketahanan abrasi, stabilitas kimia, isolasi listrik, dan toksisitas rendah yang cocok digunakan sebagai bahan pengganti apron timbal yang bersifat *toxic* (Yuniarti and Afandi 2007).

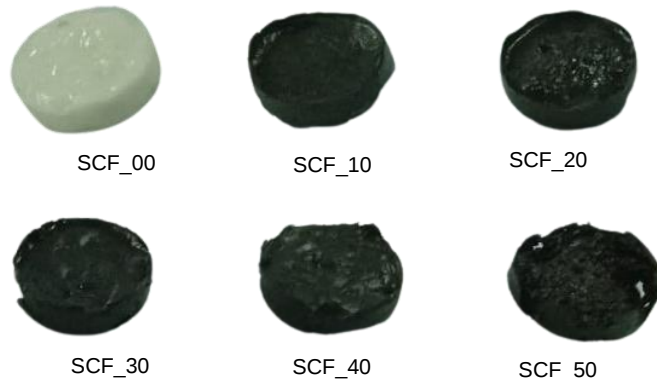
Bahan apron dari *silicon rubber* perlu ditambahkan dengan bahan yang dapat terikat baik dan memiliki sifat kemagnetan yang baik sehingga radiasi dapat terserap secara optimal. Bahan yang memiliki sifat kemagnetan yang baik dan ramah lingkungan adalah magnetite (Fe_3O_4). Jumlah Fe_3O_4 melimpah di alam sehingga dapat diperoleh dengan harga yang lebih murah dibandingkan dengan harga timbal. Keefektifan apron dalam menyerap radiasi dapat ditingkatkan dengan penambahan bahan yang memiliki sifat kelistrikan yang baik seperti karbon aktif (KA).

Alternative apron dibuat dari bahan dasar *silicon rubber* dengan menambahkan bahan isian Fe_3O_4 dan KA dengan perbandingan 3:1. Sampel apron dibuat dengan variasi komposisi bahan isian yang ditunjukkan pada Table 4.1. Bahan isian Fe_3O_4 dan KA dengan perbandingan 3:1 di mix dengan menggunakan alat Retsch MM 400 selama 5 menit. Bahan isian dimasukkan ke dalam matriks *silicon*



rubber dengan katalis (10%).

Sampel yang telah dibuat dimasukkan kedalam cetakan dan didiamkan hingga kering selama 2 x 24 jam sampai proses polimerisasi selesai.



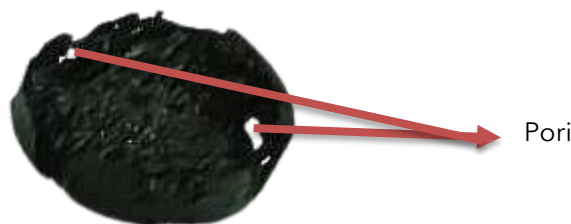
Gambar 1. Sampel alternatif apron dengan variasi komposisi bahan isian Fe_3O_4 dan KA

Sampel pertama adalah sampel dasar apron yang terbuat dari *silicone rubber* murni tanpa adanya tambahan material isian. Sampel dasar tersebut berwarna putih bersih seperti yang tampak pada Gambar 1 sampel SCF_00. Sampel dasar ini diperlukan sebagai dasar pengukuran apron dengan penambahan material isian bijih besi Fe_3O_4 dan karbon. Apron alternative dibuat dengan beberapa variasi komposisi yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel1. Komposisi alternatif apron berbahan dasar *silicon rubber*

Komposisi (wt%)	SCF_00	SCF_10	SCF_20	SCF_30	SCF_40	SCF_50
Fe_3O_4 dan KA	0	10	20	30	40	50
<i>Silicon Rubber</i>	100	90	80	70	60	50

Tampak pada Gambar 1 dengan penambahan bijih besi Fe_3O_4 dan karbon, maka sampel apron akan semakin menjadi padat dan mengurangi keelastisan dari apron (kaku) serta sulit untuk dibentuk, hal tersebut tampak yaitu pada sampel SCF_50 yang menunjukkan sampel dengan bahan isian yang paling maksimal.



Gambar 2. Pembentukan Pori pada Sampel SCF_50

Meskipun memiliki nilai koefisien atenuasi yang paling besar, sampel apron tersebut tidak cocok untuk digunakan sebagai apron. Hal tersebut disebabkan karena pada penambahan bahan isian 50 wt% akan mengakibatkan terbentuknya pori yang cukup besar, pori tersebut terbentuk karena pada penambahan 50 wt% matriks *silicon rubber* tidak dapat mengikat bahan isian dengan baik. Selain itu,



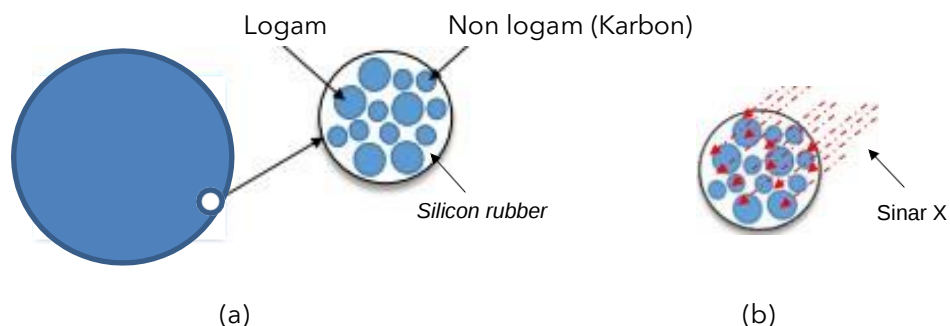
tekstur apron menjadi sulit terbentuk dan terlalu kaku.



Gambar 3. Pengukuran Nilai HU Menggunakan CT Scan

Pengukuran nilai koefisien atenuasi diperoleh dari nilai HU apron dengan menggunakan CT Scan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Sampel apron diletakkan dibantalan CT Scan dan kemudian diekspose. Nilai HU masing-masing sampel akan tampil di layar monitor secara otomatis.

Sampel dengan bahan isian 40 wt% ditunjukkan pada Gambar 1 pada sampel SCF_40. Sampel SCF_40 memiliki bentuk yang sempurna tanpa adanya pembentukan pori, selain itu teksturnya cukup baik untuk dibentuk dan memiliki nilai koefisien atenuasi yang cukup besar, dimana dalam pembuatan apron diharapkan sampel dapat menyerap radiasi dengan maksimal. Tingkat penyerapan radiasi dapat dilihat dari besarnya nilai koefisien atenuasi pada sampel. Semakin besar penyerapan sampel terhadap radiasi maka nilai koefisien atenuasi sampel semakin besar. Nilai koefisien atenuasi dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 4. (a) Kerapatan atom Fe_3O_4 dan karbon
(b) Interaksi kerapatan atom terhadap sinar-X

Gambar 4. menunjukkan ilustrasi atom dalam sampel apron. Saat berkas keluar dari kolimator, berkas sinar-X ada yang melewati jarak antar partikel dan ada juga yang terserap oleh molekul yang tersusun oleh atom logam (Fe) dan non logam (karbon) yang diikat oleh matriks *silicon*

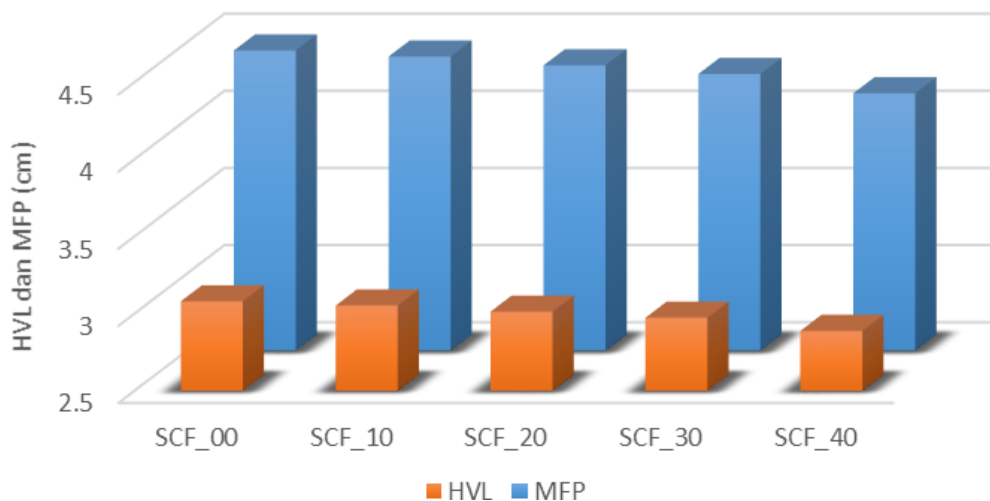


rubber. Kerapatan atom sampel yang ditunjukkan oleh Gambar 4 (a) mempengaruhi jumlah sinar-X yang lolos melewati komposit apron. Semakin rapat atom maka semakin sedikit sinar-X yang ditransmisikan oleh sampel apron.

Tabel 2. Nilai koefisien atenuasi, HVL, dan MFP

Kode Sampel	HU	Error ($\pm$)	μ_j (cm^{-1})	Error ($\pm$)	HVL	Error ($\pm$)	MFP	Error ($\pm$)
SCF_00	70.2	0.1	0.225	0.001	3.080	0.001	1.444	0.001
SCF_10	79.8	0.1	0.227	0.001	3.053	0.001	4.405	0.001
SCF_20	98.7	0.1	0.230	0.001	3.013	0.001	4.348	0.001
SCF_30	119.2	0.1	0.233	0.001	2.974	0.001	4.292	0.001
SCF_40	145.2	0.1	0.240	0.001	2.888	0.001	4.167	0.001

Tabel 2. menunjukkan penambahan bahan isian akan meningkatkan nilai koefisien atenuasi. Hal tersebut disebabkan karena bahan isian memiliki sifat kemagnetan dan sifat kelistrikan yang baik sehingga dapat menyerap radiasi dengan baik. Bahan isian yang memiliki sifat kelistrikan yang baik adalah karbon dan bahan isian yang memiliki sifat kemagnetan yang baik adalah bijih besi Fe_3O_4 . Penggabungan kedua bahan tersebut dapat meningkatkan kemampuan penyerapan sampel apron terhadap radiasi yang diterima. Semakin besar bahan isian sampel apron maka semakin besar nilai koefisien atenuasi sampel. Sampel yang memiliki koefisien atenuasi yang paling maksimal adalah sampel dengan penambahan bahan isian 50 wt% yang ditunjukkan pada sampel SCF_50.



Gambar 5. Nilai HVL and MFP sampel apron

Dengan menggunakan persamaan (2) dan (3) maka diperoleh nilai HVL dan MFP yang dapat dilihat pada Gambar 5. HVL dan MFP menunjukkan nilai efektivitas dari sampel apron. Nilai HVL menunjukkan ketebalan apron untuk menjadikan intensitas yang lolos menjadi setengah dari intensitas awalnya, sedangkan nilai MFP menunjukkan jarak antara atom terdekat. Semakin kecil nilai HVL dan MFP, maka kualitas apron semakin baik. Gambar 5 menunjukkan nilai HVL dan MFP perisai dengan bahan isian logam dan non logam. Apron yang memiliki nilai HVL dan MFP yang lebih kecil adalah SCF_50.

Untuk menentukan komposisi terbaik dari sampel apron dapat dinilai dari dua kriteria, yaitu pertama adalah dari fisik sampel dan yang kedua adalah dari nilai koefisien atenuasi sampel. Dari tabel 2 tampak jelas bahwa sampel yang memiliki nilai koefisien atenuasi yang paling besar adalah SCF_50, akan tetapi dari sifat fisik sampel SCF_50 yang tampak pada gambar 2 terbentuk pori yang cukup besar dan keelastisan yang kecil (kaku) sehingga tidak layak digunakan sebagai alternatif apron. Sampel



yang memiliki nilai koefisien yang cukup baik dan memiliki sifat fisik yang baik ditunjukkan oleh sampel SCF_40.

KESIMPULAN

Komposisi maksimum bahan isian (Fe_3O_4 dan karbon) sampel apron yang dapat diikat dengan baik oleh *silicon rubber* adalah sebesar 40 wt%. Penambahan bahan isian diatas 40 wt% mengakibatkan terbentuknya pori pada sampel apron.

Keefektifan dari apron dalam menyerap radiasi dipengaruhi oleh komposisi isian, dimana semakin besar komposisi bahan isian maka semakin besar nilai koefisien atenuasi dari sampel apron. Koefisien atenuasi sampel yang paling baik untuk dijadikan sebagai apron adalah pada sampel SCF_40 yaitu 0.240 cm^{-1} .

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada pihak Universitas Negeri Makassar, pihak Politeknik Muhammadiyah Makassar, serta pihak RSKD Dadi Makassar yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini.

REFERENSI

- Ansar, Asnaeni, Dahlang Tahir, Bualkar Abdullah, Nurhasmi, Siti Fatimah, and Jusmawang. 2019. "Physical Characteristics of Soft Tissue Phantom from Silicone Rubber Based Vulcanization System." Pp. 194-99 in *Materials Science Forum*. Vol. 966 MSF. Trans Tech Publications Ltd.
- Azeez, Ali Basheer, Kahtan S. Mohammed, Mohd Mustafa Al Bakri Abdullah, Nik Noriman Zulkepli, Andrei Victor Sandu, Kamarudin Hussin, and Azmi Rahmat. 2014. "Design of Flexible Green Anti Radiation Shielding Material against Gamma-Ray." *Materiale Plastice* 51(3):300-308.
- Chai, Hao, Xiaobin Tang, Minxuan Ni, Feida Chen, Yun Zhang, Da Chen, and Yunlong Qiu. 2015. "Preparation and Properties of Flexible Flame-Retardant Neutron Shielding Material Based on Methyl Vinyl Silicone Rubber." *Journal of Nuclear Materials* 464:210-15. doi: 10.1016/j.jnucmat.2015.04.048.
- Chung, D. D. L. 2001. "Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of Carbon Materials." *Carbon* 39(2):279-85. doi: 10.1016/S0008-6223(00)00184-6.
- Guan, Hongtao, Shunhua Liu, Yuping Duan, and Ji Cheng. 2006. "Cement Based Electromagnetic Shielding and Absorbing Building Materials." *Cement and Concrete Composites* 28(5):468-74. doi: 10.1016/j.cemconcomp.2005.12.004.
- Gwaily, S. E., H. H. Hassan, M. M. Badawy, and M. Madani. 2002. "Study of Electrophysical Characteristics of Lead-Natural Rubber Composites as Radiation Shields." *Polymer Composites* 23(6):1068-75. doi: 10.1002/pc.10502.
- Gwon, Seok Hyeon, Jeong Hwan Oh, Minseok Kim, Sooseok Choi, Kyu Hwan Oh, and Jeong Yun Sun. 2018. "Sewable Soft Shields for the γ -Ray Radiation." *Scientific Reports* 8(1):1-7. doi: 10.1038/s41598-018-20411-3.
- Hyun, Seung Jae, Ki Jeong Kim, Tae Ahn Jahng, and Hyun Jib Kim. 2016. "Efficiency of Lead Aprons in Blocking Radiation – How Protective Are They?" *Heliyon*. doi: 10.1016/j.heliyon.2016.e00117.
- National Council on Radiation Protection and Measurements. 1989. *Radiation Protection for Medical and Allied Health Personnel: Recommendations of the National Council on Radiation Protection and Measurements*.
- Nurhasmi, Heryanto, Ahamd Nurul Fahri, Sultan Ilyas, Asnaeni Ansar, Bualkar Abdullah, and Dahlang Tahir. 2021. "Study on Optical Phonon Vibration and Gamma Ray Shielding Properties of Composite Geopolymer Fly Ash-Metal." *Radiation Physics and Chemistry* 180. doi: 10.1016/j.radphyschem.2020.109250.
- Nurhasmi, D. Tahir, B. Abdullah, A. Ansar, S. Ilyas, I. Mutmainna, and W. I. Madda. 2019. *Geopolymer Concrete for Radiation Shielding Application*. Vol. 966 MSF.
- Yuniarti, Nurhening, and A. N. Afandi. 2007. "Tinjauan Sifat Hidrofobik Bahan Isolasi Silicone Rubber." *Tekno UM MALANG*.