

KAJIAN PRODUKSI RADIOISOTOP $^{32}_{15}\text{P}$ SEBAGAI *THERAPEUTIC AGENT* MENGGUNAKAN BERKAS NEUTRON SEKUNDER YANG DIHASILKAN DARI SIKLOTRON

oleh

Suharni

Diajukan ke Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada pada tanggal Oktober 2025 untuk memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh derajat Magister Program Studi Teknik Fisika

INTISARI

Radioisotop $^{32}_{15}\text{P}$ merupakan pemancar partikel beta murni dengan umur paro 14,27 hari yang ideal digunakan untuk terapi karena dosisnya dapat dipertahankan dalam waktu yang lama dan mencukupi untuk kebutuhan terapi. Pada studi ini telah dilakukan perhitungan simulasi produksi radioisotop $^{32}_{15}\text{P}$ sebagai *therapeutic agent*. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan *yield* radioisotop $^{32}_{15}\text{P}$ yang diproduksi dengan mengiradiasi $^{32}_{16}\text{S}$ menggunakan neutron sekunder yang dihasilkan dari siklotron. Selain itu ditentukan *yield* radioaktivitas pengotor sebagai produk samping dari produksi $^{32}_{15}\text{P}$ dan optimasi parameter produksi radioisotop $^{32}_{15}\text{P}$.

Metode pada penelitian ini adalah simulasi produksi $^{32}_{15}\text{P}$ dengan neutron sekunder yang dihasilkan dari siklotron, menggunakan perangkat lunak SRIM 2013 dan PHITS 3.31. Simulasi SRIM digunakan untuk menentukan ketebalan target titanium sebagai material yang diiradiasi berkas proton siklotron untuk menghasilkan fluks neutron sekunder yang maksimum. Simulasi PHITS digunakan untuk menghitung fluks neutron sekunder yang dipengaruhi oleh energi proton. Energi proton divariasikan sebesar 13, 18 dan 30 MeV. Neutron sekunder ini diiradiasikan ke target $^{32}_{16}\text{S}$ dengan massa 1 dan 10 gram untuk menghasilkan radioisotop $^{32}_{15}\text{P}$ (*yield* $^{32}_{15}\text{P}$). Iradiasi dilakukan dalam waktu 1 hingga 5 jam melalui reaksi nuklir $^{32}_{16}\text{S}(n, p)^{32}_{15}\text{P}$. *Yield* pengotor radioaktif juga ditentukan pada berbagai massa $^{32}_{16}\text{S}$, energi proton, dan waktu iradiasi.

Hasil simulasi menunjukkan fluks neutron sekunder dari iradiasi proton pada target titanium berada pada rentang $1,78 \times 10^{12}$ hingga $9,46 \times 10^{12}$ n/(cm²·s) untuk energi proton 13, 18, dan 30 MeV. Radioaktivitas $^{32}_{15}\text{P}$ meningkat sebanding dengan kenaikan energi proton, yaitu 0,207 MBq/(μA·jam) pada 13 MeV, 0,832 MBq/(μA·jam) pada 18 MeV, dan 3,279 MBq/(μA·jam) pada 30 MeV. Jenis pengotor radioaktif bervariasi tergantung pada energi proton. Pada energi 13 MeV tidak ditemukan pengotor, sedangkan pada energi 18 MeV muncul pengotor $^{31}_{14}\text{Si}$ dan $^{30}_{15}\text{P}$. Sementara, pengotor $^{31}_{14}\text{Si}$, $^{30}_{15}\text{P}$, $^{28}_{13}\text{Al}$, dan $^{31}_{16}\text{S}$ ditemukan pada iradiasi proton energi 30 MeV. Kenaikan massa target $^{32}_{16}\text{S}$ dari 1 gram menjadi 10 gram meningkatkan hasil *yield* $^{32}_{15}\text{P}$ dan pengotor. Berdasar analisis yang telah dilakukan, radioaktivitas $^{32}_{15}\text{P}$ yang paling optimal dapat dihasilkan dari 10 gram massa $^{32}_{16}\text{S}$ yang diiradiasi selama 5 jam menggunakan berkas proton energi 30 MeV, meskipun muncul pengotor pada hasil iradiasi tersebut





UNIVERSITAS
GADJAH MADA

Kajian Produksi Radioisotop P-32 Sebagai Therapeutic Agent Menggunakan Berkas Neutron Sekunder Yang Dihasilkan Dari Siklotron

Suharni, Ir. Nunung Prabaningrum, M.T., Ph.D., IPU.

Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

Kata kunci: siklotron, radioisotop $^{32}_{15}\text{P}$, simulasi PHITS dan SRIM, berkas proton, radioaktivitas, neutron sekunder, *yield*

Pembimbing I : Ir. Nunung Prabaningrum, M.T., Ph.D., IPU.

Pembimbing II : Prof. Dr. Imam Kambali



STUDY OF $^{32}_{15}\text{P}$ RADIOISOTOPE PRODUCTION AS A THERAPEUTIC AGENT USING CYCLOTRON-GENERATED SECONDARY NEUTRONS

by

Suharni

Submitted to the Department of Nuclear Engineering and Engineering Physics,
Faculty of Engineering, Universitas Gadjah Mada in October 27th, 2025 to fulfill part of
the requirements for obtaining the Master's Degree in the Engineering Physics Study
Program

ABSTRACT

The radioisotope phosphor-32 ($^{32}_{15}\text{P}$) is a pure beta particle emitter with a half-life of 14.27 days, making it ideal for therapy because the dose can be maintained for a long time and is sufficient for therapeutic needs. In this study, a simulation calculation ion calculation was performed for the production of the radioisotopes $^{32}_{15}\text{P}$ as a therapeutic agent. The purpose of this research is to determine the yield of the $^{32}_{15}\text{P}$ radioisotope produced by irradiating with secondary neutrons from the cyclotron. Additionally, it evaluates the yield of radioactive impurities as by-products of the production and optimizes the production parameters of the radioisotope.

The research was conducted through $^{32}_{15}\text{P}$ production simulations using secondary neutrons generated from a cyclotron. The simulations were carried out using SRIM 2013 and PHITS 3.31 software. The SRIM simulation was used to determine the thickness of the titanium target as the material irradiated by the cyclotron proton beam to achieve maximum secondary neutron flux. The PHITS simulation was used to calculate the secondary neutron flux influenced by proton energy, where the proton energy was varied at 13, 18, and 30 MeV. The secondary neutrons were irradiated onto $^{32}_{16}\text{S}$ targets with masses of 1 and 10 grams to produce radioisotopes $^{32}_{15}\text{P}$ (yield $^{32}_{15}\text{P}$). Irradiation was performed over a period of 1 to 5 hours through nuclear reactions $^{32}_{16}\text{S} (n, p) ^{32}_{15}\text{P}$. The yield of radioactive contaminants was also determined at varying $^{32}_{16}\text{S}$ masses, proton energies, and irradiation times.

The simulation results show the secondary neutron flux from proton irradiation on a titanium target is in the range of 1.78×10^{12} to 9.46×10^{12} n/(cm²·s) for proton energies of 13, 18, and 30 MeV. Radioactivity $^{32}_{15}\text{P}$ increases proportionally with the rise in proton energy, 0.207 MBq/(μA·hour) at 13 MeV, 0.832 MBq/(μA·hour) at 18 MeV, and 3.279 MBq/(μA·hour) at 30 MeV. The types of radioactive impurities vary depending on the proton energy. At 13 MeV, no impurities were found, while at 18 MeV, impurities $^{31}_{14}\text{Si}$ and $^{30}_{15}\text{P}$ appeared. Meanwhile, impurities $^{31}_{14}\text{Si}$, $^{30}_{15}\text{P}$, $^{28}_{13}\text{Al}$, and $^{31}_{16}\text{S}$ were found at 30 MeV proton irradiation. Increasing the target $^{32}_{16}\text{S}$ mass from 1 gram to 10 grams enhances the yield and impurities. The irradiation duration has minimal impact on the yield of $^{32}_{15}\text{P}$, extended irradiation time results in an increase in the total activity of $^{32}_{15}\text{P}$.

Keywords: cyclotron, radioisotope $^{32}_{15}\text{P}$, PHITS and SRIM simulations, proton beam, radioactivity, secondary neutrons, yield





UNIVERSITAS
GADJAH MADA

Kajian Produksi Radioisotop P-32 Sebagai Therapeutic Agent Menggunakan Berkas Neutron Sekunder Yang Dihasilkan Dari Siklotron

Suharni, Ir. Nunung Prabaningrum, M.T., Ph.D., IPU.

Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

Promotor : Ir. Nunung Prabaningrum, M.T., Ph.D., IPU.

Co-Promotor : Prof. Dr. Imam Kambali

