

Commissioning Test of a New Production Facility for separation Radioisotope Phosphorus-32 (^{32}P) and Purification ^{32}P with Ion Exchange

Komisioning Fasilitas Produksi Baru Untuk Pemisahan Radioisotop Fosfor-32 (^{32}P) dan Pemurnian ^{32}P dengan Penukar Ion

Chaidir Pratama^{a,*}, Ahid Nurmanjaya^a, Wira Y Rahman^a, Anung Pujiyanto^a, Abidin^a, Fani Triyatna^b, Endang Sarmini^c, Anas Fahmi Imron^c, Andru Irvanda Yudhantama^c

^a*Divisi Teknologi Radioisotop, Pusat Riset Teknologi Radioisotop, Radiofarmaka, dan Biodistribusi, Organisasi Riset Teknologi Nuklir, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) Gd. 11, Jl. Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Muncul Tangerang Selatan, Banten*

^b*Direktorat Pengelolaan Laboratorium, Fasilitas Riset, dan Kawasan Sains Teknologi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)*

^c*Direktorat Pengelola Fasilitas Ketenaganukliran, Deputi Bidang Infrastruktur Riset dan Inovasi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)*

*Corresponding author: chaidir.pratama@brin.go.id

Diterima: 12 April 2023, Direvisi: 23 Mei 2023, Diterbitkan: 28 Juni 2023

Abstract

A new facility for producing phosphorus-32 (^{32}P) radioisotopes has to comply with applicable regulations and requirements. The commissioning test is involving three stages: airflow system testing, dry distillation system testing, and facility safety testing. This research aims to determine the readiness of the ^{32}P radioisotope production facility with optimal parameters and to analyze the right type of resin in the separation/purification of ^{32}P products. The research method was carried out by measuring all critical parameters in the production process facility, including the safety part of the facility, and conducting experiments testing the dry distillation system and its separation using ion exchange resin. The test results of the ^{32}P production facility show that the critical parameters are the minimum requirements: the pressure in the glove box facility of at least -20 pascal and the airflow rate of 0.50 m/s. The measurement results show that the ^{32}P production facility reaches a pressure of -50 Pascal, and the air circulation flow rate reaches 1.80 to 2.40 m/s with the HVAC system. Radiation exposure testing by applicable rules and regulations should not exceed 80 μSv / day. Based on the test, the radiation exposure rate reached 35 $\mu\text{Sv}/\text{day}$. The ^{32}P production process uses natural sulfur by irradiating the G.A. Siwabessy Nuclear Reactor with a maximum power of 15 MW. The result of sulfur irradiation is then processed by dry distillation to remove sulfur and phosphorus. The separation of ^{32}P radioisotope was carried out with two types of resin type AG50-WX8 from Bio-Rad and Dowex Chemical. The total radioactivity obtained using the new process facility was 706.21 mCi. The radiochemical purity of ^{32}P before using the resin was 93.76%, and after using Dowex Chemical resin reached 95.95%, and Bio-Rad resin reached 99.99%.

Keywords: *Radioisotope Production ^{32}P , Dry Distillation, and Resin*

ABSTRAK

Fasilitas produksi baru untuk radioisotop fosfor-32 (^{32}P) harus memenuhi peraturan dan persyaratan yang berlaku. Komisioning pemenuhan peraturan dan persyaratan melibatkan tiga tahap yaitu pengujian sistem aliran udara, pengujian sistem distilasi kering, dan pengujian keamanan fasilitas. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui kesiapan fasilitas produksi radioisotop ^{32}P dengan parameter yang optimal, dan juga menganalisis tipe resin yang tepat dalam pemisahan / pemurnian produk ^{32}P . Metode penelitian dilakukan dengan cara mengukur semua parameter kritis pada fasilitas proses produksi termasuk bagian keselamatan fasilitas, dan melakukan percobaan pengujian sistem distilasi kering serta pemisahannya menggunakan resin penukar ion. Berdasarkan hasil pengujian fasilitas produksi ^{32}P menunjukkan bahwa, parameter kritis dalam fasilitas tersebut memenuhi persyaratan minimum yaitu tekanan pada fasilitas *glove box* minimal -20 Pascal dan laju aliran udara 0,50 m/s. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa fasilitas produksi ^{32}P mencapai tekanan -50 Pascal dan laju aliran sirkulasi udara mencapai 1,80 s/d 2,40 m/s dengan sistem HVAC. Pengujian paparan radiasi sesuai ketentuan dan regulasi yang berlaku tidak boleh lebih dari 80 $\mu\text{Sv/hari}$. Berdasarkan peengujian laju paparan radiasi mencapai 35 $\mu\text{Sv/hari}$. Proses produksi ^{32}P menggunakan sulfur alam dengan melakukan iradiasi Reaktor Nuklir G.A. Siwabessy dengan daya maksimum 15 MW. Hasil iradiasi sulfur kemudian diproses dengan cara distilasi kering untuk memisahkan sulfur dan fosfor. Pemisahan radioisotope ^{32}P dilakukan dengan dua jenis resin tipe AG50-WX8 dari Bio-Rad dan Dowex Chemical. Total radioaktivitas yang diperoleh dengan menggunakan fasilitas proses baru adalah 706,21 mCi. Kemurnian radiokimia ^{32}P sebelum menggunakan resin adalah 93,76% dan setelah penggunaan resin Dowex Chemical mencapai 95,95%, resin Bio-Rad mencapai 99,99%.

Kata kunci: *Produksi Radioisotop ^{32}P , Distilasi Kering, dan Resin,*

PENDAHULUAN

Radioisotop fosfor (^{32}P) memiliki waktu paruh ($T_{1/2} = 14,26$ hari) dan memiliki radiasi β^- dengan intensitas mencapai 100% pada energi 1.71 MeV (E_{max}), 0.6949 MeV (E_{av})(IAEA 2003). Radioisotop ^{32}P memiliki aplikasi dalam bidang pertanian dan medis, seperti ^{32}P dikembangkan juga sebagai perangkat untuk biomedis dengan mengkombinasikan ^{32}P sebagai implantasi ion berbasis plasma (PBII) (Fortin et al. 2005). Pada aplikasi pertanian ^{32}P digunakan juga sebagai indikator untuk melihat efisiensi, dan kumulatif tumbuhan terhadap pupuk yang diberikan, hal ini akan berperan penting

dalam penentuan seberapa banyak pupuk yang optimal dalam penyerapan yang terjadi dalam proses tersebut (Püschel et al. 2021; K. Al Nabhani 2021).

Salah satu produk dari Pusat Riset Teknologi Radioisotop, Radiofarmaka, dan Biodosimetri (PTRRB) - Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), adalah radioisotop ^{32}P yang digunakan dalam aplikasi medis salah satunya adalah ^{32}P untuk terapi keloid dengan menggunakan *skin patch* dalam kedokteran nuklir (Indrayati et al. 2016), (Rahman, Sarmini, and Widyaningrum 2019). Berdasarkan peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) Nomor 23 Tahun 2022 Tentang Syarat Baku Mutu Obat dan Bahan

Obat menjelaskan pada lampiran I bahwa, Fasilitas produksi, penyimpanan dan penggunaan radiofarmaka harus mengikuti ketentuan umum dari Badan Pengawas Tenaga Nuklir (BAPETEN) Nomor 6 Tahun 2020 tentang Keselamatan Radiasi dalam Produksi Radioisotop untuk Radiofarmaka (Badan Pengawas Tenaga Nuklir 2020; Peraturan Kepala BPOM 2022). Proses pengujian fasilitas merupakan salah satu langkah dari implementasi peraturan tersebut. Pengujian laju aliran udara, pengukuran paparan radiasi, verifikasi keselamatan bahan zat radioaktif, kualifikasi operator, alat dan lainnya. Fasilitas produksi ^{32}P yang baru ini diharapkan mampu memberikan peningkatan baik dari sisi kapasitas produksi, dan peningkatan lainnya yaitu untuk mendapatkan sertifikasi produk akhir yaitu larutan ^{32}P (nomor ijin edar) dari BPOM yang tersertifikasi dengan aturan cara pembuatan obat yang baik (CPOB) (Direktorat Pengawasan Keamanan, Mutu dan Ekspor Impor Obat 2022).

Resin kationik adalah resin penukar ion dengan kation atau gugus fungsi positif yang dapat berikatan dengan ion negatif dalam larutan. Resin kationik memiliki gugus fungsi seperti sulfonat (R-SO₃H), fosfonat (R-PO₃H₂), fenolat (R-OH) atau karboksilat (R-COOH) dimana R adalah resinnya (Fillaeli 2020). Penggunaan resin

kation pada produksi radioisotop $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ menunjukkan hasil bahwa performa pemisahan sangat baik dengan *recovery rate* dan kemurnian radionuklida mencapai 99,99% (Castillo et al. 2010). Potensi ini yang akan digunakan untuk menganalisis tipe resin kation yang tepat produksi ^{32}P dengan fasilitas baru.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kesiapan fasilitas produksi radioisotop ^{32}P dengan parameter yang optimal, dan juga menganalisis tipe resin yang tepat dalam pemisahan / pemurnian produk ^{32}P , sehingga dapat diperoleh kualitas produk ^{32}P terbaik, dengan kemurnian yang tinggi, serta parameter fasilitas produksi yang sesuai dengan aturan yang berlaku.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam proses produksi radioisotop ^{32}P adalah Sulfur (99.99% Sigma Aldrich), Resin Kation (H⁺) AG50-WX8 (Bio-Rad), AG50-WX8 (Dowex), HCl 0.1 N, TLC *paper* dan KH₂PO₄

Alat yang digunakan adalah satu set distilasi kering, alat pengukur laju dosis radiasi Canberra - Radiagem 2000, Termometer dengan IR Extech Instruments Tipe HD500 dan probe (*thermocouple* – K), Dose calibrator ATOMLAB 100 plus (pengukuran aktivitas radioisotop ^{32}P),

Spektrometer Gamma Ortec DSPEC LF dengan detektor HPGe (kemurnian radionuklida), TLC scanner Comecer tipe-204 Gamma BGO-V-Detector (pengukuran radiokimia), alat pengukur laju aliran udara Wohler tipe FA-430, *Magnehlic pressure gauge*, corong pemisah resin, lampu infrared, kontainer Pb, botol produk polietilen ukuran 5 ml, 10 ml, dan Casio label printer KL-120.

Proses Pengujian Fasilitas Produksi ^{32}P

Proses pengujian fasilitas produksi di bagi dalam 3 bagian yaitu pengujian sistem aliran udara, pengujian sistem distilasi kering, dan pengujian keselamatan fasilitas.

Pengujian sistem aliran udara dilakukan dengan cara menghidupkan sistem induk HVAC dan pemasangan HEPA filter, kemudian didiamkan selama 1 jam untuk menunggu kesetabilan sirkulasi udara pada ruangan, dipantau indikator tekanan pada sistem HVAC. Setelah HVAC sudah berjalan sesuai dengan persyaratan, maka dihidupkan pompa blower penghisap pada fasilitas *glove box* untuk proses produksi ^{32}P , di tunggu 30 menit sampai sistem udara stabil, di catat tekanan pada keluaran blower. Pengukuran selanjutnya adalah mengukur laju aliran udara dari luar (ruangan) masuk ke dalam sistem *glove box* dengan menggunakan alat pengukur kecepatan udara.

Sistem distilasi kering diuji melalui

beberapa tahapan yaitu penentuan titik pengukuran suhu, penimbangan sulfur sebagai bahan baku yang akan didistilasi sebanyak 5 gram dan pengaturan kenaikan suhu secara bertahap setiap 50 °C selama 15 menit sampai diperoleh suhu puncak 420 °C.

Fasilitas keselamatan diuji 2 kali pada saat sebelum proses dan ketika proses berlangsung. Pengujian sebelum proses berlangsung terdiri dari inspeksi kesesuaian APD dan sarana penunjang dekontaminasi. Pengujian saat proses berlangsung terdiri dari pengukuran laju dosis dan pengamatan sebaran kontaminasi.

Pemisahan Radioisotop ^{32}P Menggunakan Resin Penukar Ion-Kation

Proses produksi radioisotop ^{32}P yang digunakan mengikuti cara dari (Pratama et al. 2020) dengan modifikasi dibagian pendinginan dengan Nitrogen Ultra High Purity (UHP) dengan kadar 99,98% serta *setting* kecepatan 2 - 5 *bubble* / detik dan waktu proses distilasi selama 7 jam / hari dengan total durasi 5 hari proses.

Proses pemisahan ^{32}P dilakukan ketika target yang berisi sulfur sudah terdekomposisi / sudah berpindah pada camber penampungan, sehingga ampul kuarsa menjadi bersih / tidak ada sulfur lagi.

Ampul kuarsa yang telah bersih dari

sulfur, direndam selama 1 hari (24 jam) dengan HCL 0,1 N sebanyak 6 ml. Larutan tersebut diambil sebanyak 100 μ L untuk diuji kemurnian radionuklida dan radiokimianya. Resin jenis AG50-WX8 (Bio-Rad) dan AG50-WX8 (Dowex) disiapkan setelah dikondisikan dengan dicuci menggunakan aquadest, direndam dalam HCl 6N selama 24 jam dan dibilas kembali menggunakan aquadest. Larutan dari ampul kuarsa yang telah direndam dilewatkan pada kolom berisi resin tersebut, eluat yang keluar ditampung dalam botol produk 10 ml dan diberi penanda. Setelah larutan di dalam ampul kuarsa habis, ampul kuarsa dipanaskan kembali pada suhu 200 - 300°C selama 10 – 15 menit. Ampul dibilas kembali dengan larutan HCl 0,1 N sebanyak 5 ml kemudian dilewatkan ke dalam kolom berisi resin sampai eluat berhasil ditampung.

Pengujian Radioaktivitas Produk ^{32}P

Pengukuran radioaktivitas produk dilakukan dengan cara mengukur setiap fraksi dari proses pemisahan menggunakan alat *dose calibrator*.

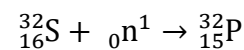
Pengujian Kemurnian Radionuklida Radiokimia

Sampel dicuplik sebanyak 10 μ L untuk pengujian radionuklida dan radiokimia. Pengujian radionuklida dengan menggunakan alat spektrometer gamma

Ortec Dspec LF, sedangkan untuk kemurnian radikimia sampel di teteskan pada kertas TLC yang kemudian di rendam menggunakan larutan KH_2PO_4 selama 40 – 60 menit, kemudian diukur menggunakan TLC scanner Comecer-204.

PEMBAHASAN

Program pengujian operasi fasilitas produksi ^{32}P , merupakan program operasi fasilitas dalam bentuk *glove box* yang didesain secara khusus untuk menangani bahan radioaktif. Fasilitas ini merupakan fasilitas yang baru, yang sebelumnya telah mengalami kerusakan dan sulit untuk yang diperbaiki. Oleh sebab itu dengan fasilitas baru ini, harus dilakukan uji coba / operasi sebelum digunakan untuk membuktikan bahwa struktur, sistem, dan fasilitas lainnya bekerja dengan baik, memenuhi kriteria desain dan keamanan untuk keselamatan operator produksi radioisotop, dan lingkungan, Produksi ^{32}P berasal dari distilasi kering belerang (sulfur) hasil iradiasi di reaktor Nuklir G.A Siwabessy dengan reaksi nuklir sebagai berikut



(1)

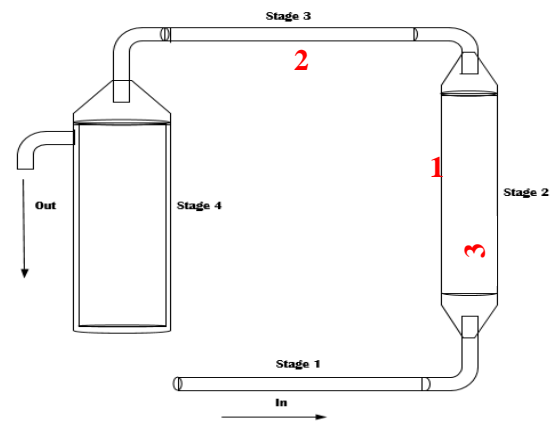
Resiko yang kemungkinan timbul kontaminasi internal personel atau lingkungan. Oleh karena itu, untuk memenuhi standar keselamatan perlu dilakukan uji pengoperasian fasilitas seperti *glove box*, sistem kelistrikan, *heating*,

ventilation, dan air-conditioning (HVAC), dan lainnya.

Pengujian Fasilitas Produksi ^{32}P

Pengujian fasilitas produksi ^{32}P yang pertama adalah pengujian sistem udara dengan melakukan pengukuran tekanan udara pada fasilitas HVAC. Tekanan pada suplai dan sirkulasi udara pada saat proses berlangsung adalah -50 Pascal, hal ini telah sesuai dengan aturan yang dikeluarkan dan direkomendasikan oleh *International Atomic Energy Agency* (IAEA 2004) yaitu untuk fasilitas *hotcell / hotlab /* fasilitas produksi radioisotop non aspetik adalah minimal -20 Pascal dengan tekanan negatif (udara dari luar disedot ke dalam, dan dibuang melalui sistem HEPA filter, dan HVAC). Pengukuran laju aliran udara di dalam fasilitas *glove box* yang dipersyaratkan adalah 0,5 m/s dan hasil pengukuran menunjukkan rata-rata adalah 1,80 sampai 2,40 m/s. Hal ini menunjukkan bahwa laju aliran telah memenuhi persyaratan minum sehingga dari sisi aspek keselamatan radiasi, zat radioaktif yang berada di dalam *glove box* tidak akan mengontaminasi keluar, melindungi pekerja dari potensi bahaya internal zat radioaktif. Zat radioaktif dalam fasilitas *glove box* akan terhisap / terbawa aliran (laminer) menuju sistem *chamber trap* radioaktif pada fasilitas HVAC

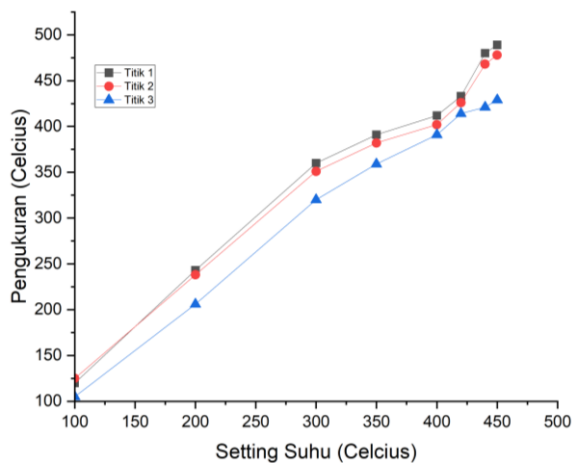
Selanjutnya dilakukan pengukuran distribusi panas pada sistem distilasi kering dengan menentukan beberapa titik panas pada sistem.



Gambar 1. Sistem Distilasi Kering Pada Fasilitas Produksi ^{32}P

Penentuan titik pengukuran suhu dilakukan pada 3 (tiga) titik / posisi untuk menentukan distribusi panas yang tepat pada proses produksi ^{32}P . Suhu yang ideal pada proses distilasi kering yaitu 420 – 444 °C atau dibawah titik didihnya (Sigma - Aldrich 2023). Posisi titik No. 3 merupakan parameter kritis dalam penentuan panas tersebut, hal ini disebabkan karena posisi No. 3 merupakan tempat dimana sulfur terdistilasi, sehingga pengukuran pada bagian dalam tabung distilasi sangat penting. Pada posisi titik No. 1 dan No. 2 merupakan pengukuran di luar tabung, hal ini untuk memastikan bahwa distribusi panas yang terjadi dalam sistem distilasi merata, dan sulfur akan terkumpul pada *chamber* penampung. Pada proses pengukuran panas ini juga dilakukan

hembusan gas Nitrogen UHP dengan tujuan menjaga suhu agar tidak menyebabkan *overheat* sehingga tidak merusak bahan dan peralatan, menjaga agar tidak terjadi *auto-ignition temperature* pada suhu 240 – 400 °C dan membantu perpindahan sulfur ke dalam *chamber*.



Gambar 2. Hasil Pengukuran Suhu Pada Fasilitas Produksi ^{32}P

Pada Gambar 2 menunjukkan bahwa dengan menggunakan *setting* 400 °C pada titik 1, 2 dan 3 mencapai suhu 412 °C, 402 °C dan 391 °C, pada *setting* 420 °C pada titik 1, 2 dan 3 mencapai suhu 433 °C, 426 °C dan 391 °C, pada *setting* 440 °C pada titik 1, 2 dan 3 mencapai suhu 480 °C, 468 °C dan 421 °C, dan terakhir pada *setting* 450 °C pada titik 1, 2 dan 3 mencapai suhu 489 °C, 478 °C dan 429 °C. Perbedaan ini disebabkan karena beberapa hal, antara lain:

1. Pada titik No. 1 filamen pemanas / *heating tape* langsung bersentuhan / kontak dengan alat distilasi sehingga

panas yang dihasilkan lebih tinggi di bandingkan dengan No. 3

2. Pada titik No. 2 temperatur turun sedikit dibandingkan dengan titik No. 1 hal ini sebabkan karean ukuran / diameter titik No. 2 lebih kecil sehingga aliran Nitrogen UHP yang mengalir dari titik No. 1 ke No. 2 menjadi lebih cepat termampatkan akibat perbedaan ukuran sebagaimana konsep Bernoulli.
3. Pada titik No. 3 temperatur menjadi lebih turun disebabkan perpindahan panas yang terjadi merupakan perpindahan panas secara konveksi bukan secara konduksi seperti pada No. 1 dan No. 3, ditambah dengan adanya aliran gas Nitrogen UHP akan lebih menurunkan suhu di dalam sistem tersebut.

Dari data pengukuran panas tersebut, *setting* temperatur yang optimal adalah 440 – 450°C. Pada saat pengukuran panas ini dimasukan sulfur (non-irradiasi) sebanyak 5 gram, dengan tinggi awal pada kolom 8 cm menjadi 5 cm dengan waktu distilasi selama 7 jam. Penurunan tinggi tersebut menunjukkan ada sebagian sulfur yang sudah pindah / terdekomposisi ke dalam sistem *chamber*.

Pegukuran laju dosis radiasi dilakukan ketika proses produksi ^{32}P dimulai dengan total berat sulfur sebanyak

10 gram dan total waktu proses produksi selama 5 hari. 3 hari proses distilasi, 1 hari proses perendaman distilat dan 1 hari pemisahan dengan kolom resin.

Tabel 1. Pengukuran Laju Paparan Radiasi Pada Fasilitas ^{32}P - Lokasi C-101

No	Posisi	Hasil ($\mu\text{Sv}/\text{Jam}$) Avg*			
1	Depan	0,80	0,70	0,70	0,71
2	S. Kiri	6,30	4,05	4,30	4,86
3	S. Kanan	5,80	3,90	3,80	4,48
4.	Belakang	0,02	0,02	0,02	0,00

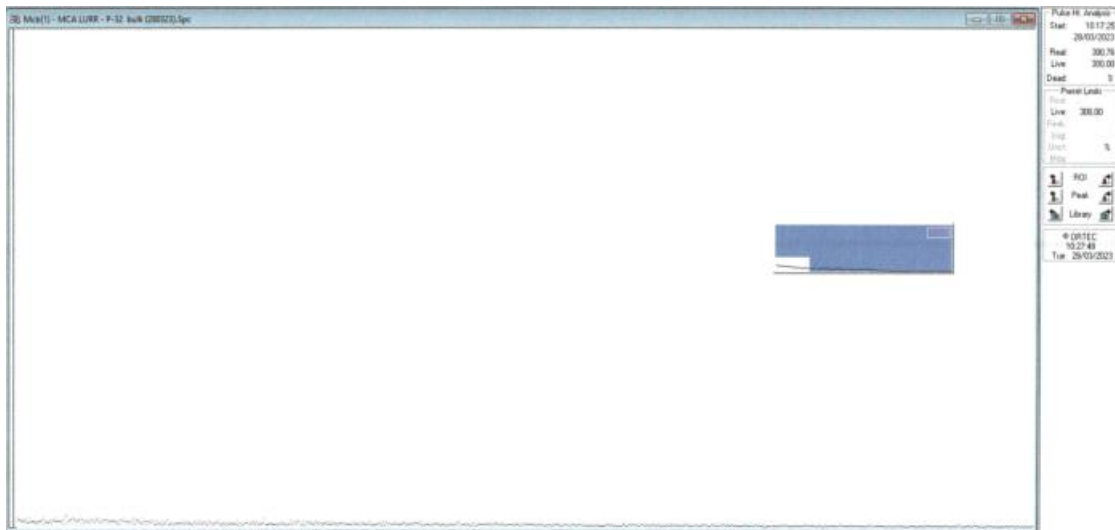
*Background (BG): $0,02 \mu\text{Sv}/\text{Jam}$ (Avg sudah di kurangi dengan nilai BG).

Berdasarkan Tabel 1, untuk bagian depan memiliki laju dosis sebesar $0,71 \mu\text{Sv}/\text{Jam}$, sedangkan untuk bagian sisi kiri dan kanan mencapai $4,86 \mu\text{Sv}/\text{Jam}$ dan $4,48 \mu\text{Sv}/\text{Jam}$ dan untuk bagian belakang adalah sama dengan background. Laju paparan tersebut jika merujuk pada batas minimal dosis yang diterima sesuai dengan ketentuan nilai batas dosis radiasi pekerja mengacu pada Peraturan BAPETEN No. 4 Tahun 2013 (Badan Pengawas Tenaga Nuklir 2013) adalah dosis efektif mencapai tidak boleh lebih dari $20 \text{ mSv} / \text{tahun}$, atau akumulasi dalam 5 tahun maksimal 100 mSv . Pada instalasi radioisotop dan radiofarmaka kebijakan ini diperketat menjadi $15 \text{ mSv} / \text{tahun}$ atau dalam sehari tidak boleh melebihi $80 \mu\text{Sv}/\text{hari}$. Jika

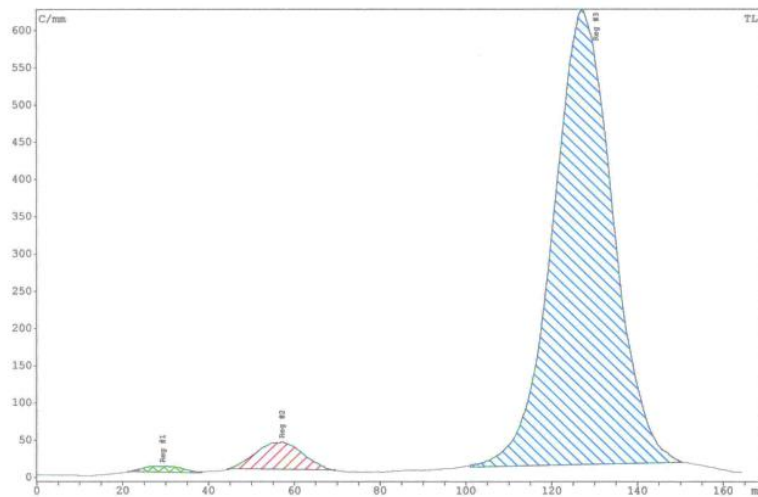
dihitung sebagaimana data Tabel 1, maka dosis yang diterima rata-rata dalam sehari adalah $35 \mu\text{Sv}/\text{hari}$. Hal ini membuktikan bahwa aspek keselamatan radiasi terpenuhi. Laju dosis yang diterima masih jauh di bawah dosis rata-rata. Fasilitas proses ^{32}P telah memenuhi persyaratan yang diizinkan serta aman untuk pekerja dan lingkungan sekitar.

Pengaruh Resin Terhadap Kemurnian Radionuklida dan Radiokimia Produk ^{32}P

Sebelum pemisahan menggunakan resin, sampel dicuplik untuk menentukan kemurnian radionuklida dan radiokimia. Berdasarkan pengukuran radionuklida menggunakan alat Spektrometer gamma Ortec Dspec LF menunjukkan hasil 99,99% adalah radionuklida ^{32}P seperti ditunjukkan pada Gambar 3, dengan standar minimal kemurnian radionuklida sebesar 95,00%. Sedangkan untuk pengujian radiokimia menggunakan alat TLC Scanner Comcer 204 menunjukkan hasil 93,76% (seperti Gambar 4). Jika merujuk pada standar kualitas produk maka, hal ini belum memenuhi persyaratan untuk digunakan aplikasi medis yang ditetapkan minimal 98,00% - 99,00% dan untuk aplikasi non-medis minimal 95,00%.



Gambar 3. Hasil Pengukuran Radionuklida ^{32}P dengan MCA HPGE Mobius

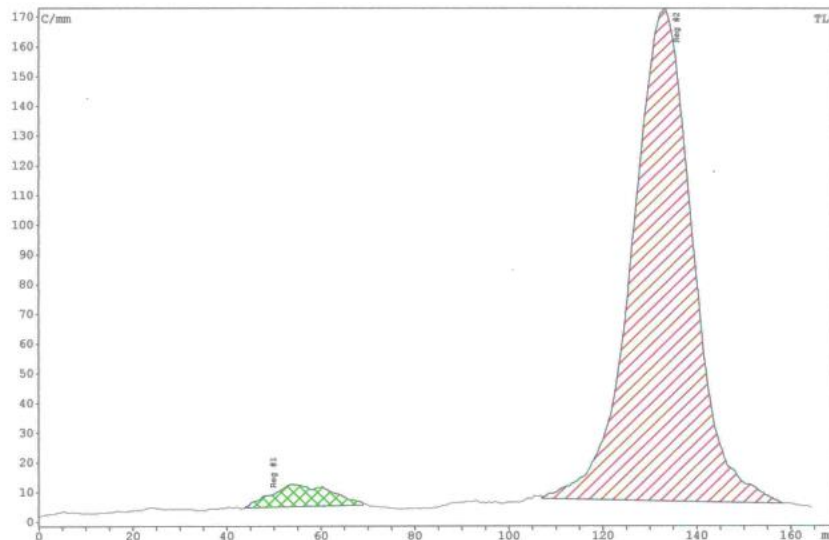


Gambar 4. Hasil Pengukuran Radiokimia ^{32}P (Non-Resin)

Selanjutnya *bulk* ^{32}P dilewatkan pada kolom resin dengan merek yang berbeda, hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut.

Tabel 2. Perbandingan Hasil Kemurnian Radiokimia Menggunakan Resin AG50-WX8 (Bio-Rad) dan AG50-WX8 (Dowex)

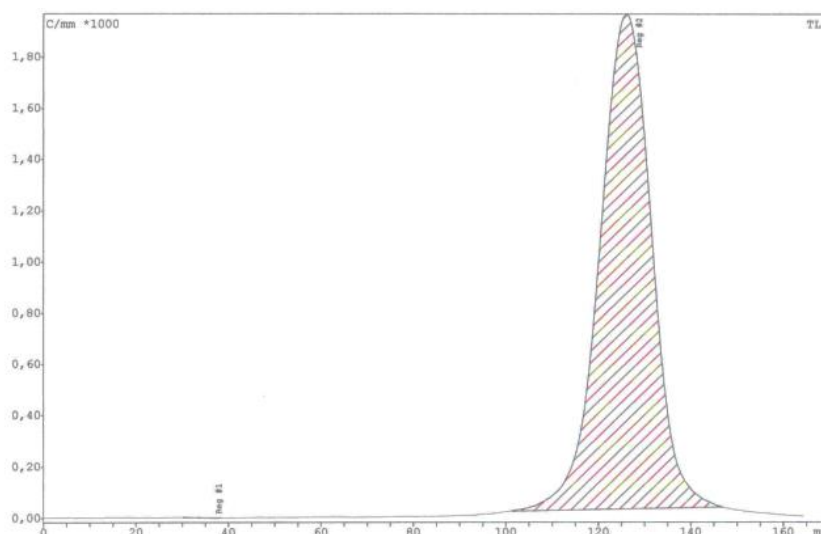
No	Hasil	Radiokimia (%)
1	Dowex	95,95
2	Bio-Rad	99,99



Gambar 5. Hasil Pengukuran Radiokimia ^{32}P (Resin Dowex)

Pada Gambar 5 menunjukkan peningkatan kemurnian radiokimia yang awalnya terdapat 3 puncak pada Gambar 4 menjadi 2 puncak. Efisiensi peningkatan

mencapai 2,19%. Hal ini sangat lah kecil atau tidak terlalu signifikan dalam meningkatkan kemurnian.



Gambar 6. Hasil Pengukuran Radiokimia ^{32}P (Resin Bio-Rad)

Kemurnian radiokimia yang diperoleh mencapai 99,99% sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6. Resin yang digunakan adalah AG50-WX8 dari Bio-Rad. Pada gambar 6 terlihat hanya terdapat

1 puncak. Hal tersebut menunjukkan bahwa tingkat kemurnian yang diperoleh lebih tinggi dibandingkan kemurnian radiokimia dari produk non-resin dan resin Dowex Chemical. Peningkatan efisiensi mencapai

6,23 % atau 3 (tiga) kali efisiensi dari resin dowex chemical.

Perbandingan dari kedua resin tersebut menunjukkan kecenderungan *removal of cations* dari produk Bio-Rad lebih baik untuk proses ^{32}P daripada dowex-chemical dengan jenis resin yang sama.

Berdasarkan hasil tersebut, pemberian resin cenderung meningkatkan kualitas kemurnian radiokimia yang dihasilkan sehingga sesuai spesifikasi.

Tabel 3 menunjukan bahwa total radioaktivitas yang dihasilkan pada fasilitas baru mencapai 706,21 mCi / 10 gram target sulfur. Pada saat proses produksi ^{32}P dilakukan 2 minggu setelah irradiasi hal ini dikarenakan pertimbangan teknis, penyiapan dan pengecekan ulang fasilitas sehingga hasil yang di peroleh belum maksimal. Berdasarkan SOP Produksi Radioisotop ^{32}P , proses harus dilakukan dengan durasi distilasi selama maksimal 1 minggu setelah irradiasi untuk mencapai *peak* / hasil yang optimal. Apabila dilakukan sesuai dengan prosedur, hasil yang diprediksi mencapai 1 Ci / 10 gram.

Namun, hasil ini sangat besar jika dibandingkan sebelum proses revitalisasi / fasilitas lama yang hanya menghasilkan 400 – 500 mCi / 10 gram dan diproses 1 minggu setelah irradiasi. Penggunaan fasilitas produksi ^{32}P baru telah berhasil dan

Pengujian Radioaktivitas Produk ^{32}P

Pengujian radioaktivitas produk ^{32}P dilakukan untuk melihat tingkat radioaktivitas yang dihasilkan setelah penggunaan fasilitas produksi baru.

Tabel 3. Total Radioaktivitas Produk ^{32}P Pada Fasilitas Baru

No	Hasil	Radioaktivitas (mCi)
1	F-1	341,00
2	F-2	303,00
3	F-3	44,50
4	F-4	18,21

sukses meningkatkan kapasitas produksi menjadi 2 (dua) kali dari sebelum dilakukan perbaikan. Hal ini akan berdampak pada suplai radioisotop untuk penelitian dan pengembangan lainnya di Indonesia lebih terpenuhi. Tidak perlu impor zat radioaktif, lebih hemat secara ekonomi dan memiliki teknologi kunci untuk Indonesia

KESIMPULAN

Pengujian fasilitas produksi radioisotop ^{32}P telah memenuhi persyaratan sesuai regulasi antara lain pengujian sistem aliran udara mencapai -50 pascal dan laju aliran mencapai 1,80 s/d 2.40 m/s, pengujian sistem distilasi kering mampu memproduksi radioisotop ^{32}P mencapai 706,21 mCi, dan pengujian keselamatan fasilitas khususnya laju paparan dibawah 80 $\mu\text{Sv/hari}$. Penggunaan resin dalam proses pemisahan/pemurnian ^{32}P dapat meningkatkan kualitas produk dari segi

kemurnian radiokimia. Kemurnian radiokimia sebelum penggunaan resin adalah 93,74% dan setelah menggunakan resin Dowex Chemical 95,99% dan Bio-Rad 99,99%.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pengawas Tenaga Nuklir. 2013. "Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013 Tentang Proteksi Dan Keselamatan Radiasi Dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir." *Republik Indonesia*, 1–29.

———. 2020. "KESELAMATAN RADIASI DALAM PRODUKSI RADIOISOTOP UNTUK RADIOFARMAKA."

Castillo, Abmel Xiques, Marylaine Pérez-Malo, Keila Isaac-Olivé, Heyam Mukhallalati, Edgar Casanova González, Mirta Torres Berdeguez, and Néstor Cornejo Díaz. 2010. "Production of Large Quantities of ^{90}Y by Ion-Exchange Chromatography Using an Organic Resin and a Chelating Agent." *Nuclear Medicine and Biology* 37 (8): 935–42.

Direktorat Pengawasan Keamanan, Mutu dan Ekspor Impor Obat, Narkotika. 2022. "Badan Pengawas Obat Dan Makanan Republik Indonesia." *Bpom Ri*.
<https://www.pom.go.id/new/view/more/berita/76/Keracunan-yang-Disebabkan-Gas-Karbon-Monoksida.html>.

Fillaeli, Annisa. 2020. "Ion Exchange Chromatography." *Analytical Chemistry - Universitas Negeri Yogyakarta* 36 (5): 51–55.

Fortin, M A, F Marion, B L Stansfield, R W Paynter, A Sarkissian, and B

Terreault. 2005. "Efficiency of Plasma-Based Ion Implantation of Radioisotopes (^{32}P)." *Surface and Coatings Technology* 200 (1): 996–99.

IAEA. 2003. *Manual For Reactor Produced Radioisotopes*. IAEA-TECDOC. Wina, Austria: IAEA.

———. 2004. *Radioisotope Handling Facilities and Automation of Radioisotope Production-Number 1430*. IAEA, Vienna, Austria.

Indrayati, Hani, Jono Hadi Agusni, Asmaja Soedarwoto, and Achmad Hussein Kartamihardja. 2016. "Comparison of the Effectiveness of Phosphorus-32 Application and 10 Mg/Cc Triamcinolone Acetonide Intralesional Injection on Keloid." *International Journal of Integrated Health Sciences* 4 (1): 26–31.

Nabhani, Khalid Al. 2021. "Applications of Nuclear Science and Radioisotope Technology in Advanced Sciences and Scientific Research (Space, Nuclear Forensics, Nuclear Medicine, Archaeology, Hydrology, Etc.)." In , edited by Khalid B T - Applications of Nuclear and Radioisotope Technology Al Nabhani, 185–231. Academic Press.

Peraturan Kepala BPOM. 2022. "Peraturan Badan Pengawas Obat Dan Makanan Nomor 23 Tahun 2022 Tentang Standar Dan/Atau Persyaratan Mutu Obat Dan Bahan Obat." *Bpom Ri* 11: 1–16.

Pratama, Chaidir, Ahid Nurmanjaya, Wira Y. Rahman, Fany Triyatna, Hambali, Fernanto Rindiyantono, and Anung Pujiyanto. 2020. "The Effect of Pressure Drop on Purity of ^{32}P Products with Dry Distillation Process." *AIP Conference Proceedings* 2229 (April).

Püschel, David, Michael Bitterlich, Jana

Rydlová, and Jan Jansa. 2021. "Drought Accentuates the Role of Mycorrhiza in Phosphorus Uptake." *Soil Biology and Biochemistry* 157: 108243.

Rahman, Wira Y, Endang Sarmini, and Triani Widyaningrum. 2019. "Studi

Awal Pembuatan Koloid Kromik Fosfat Bertanda Radioisotop ^{32}P Sebagai Bahan Pembuatan Skin Patch." *Jurusan Teknik Kimia*, no. April: 3–4.

Sigma - Aldrich. 2023. "Sulfur (213292)."