

MODIFIKASI “⁹⁹MO AUTOMATIC LOADING SYSTEM” GENERATOR ⁹⁹MO/^{99m}Tc BERBASIS PZC

ADANG H.G., YONO S., ARTADI H.W., WAYAN, A. MUTALIB
Pusat Radioisotop dan Radiofarmaka – BATAN
Kawasan Puspipstek Gd. 11 Serpong Tangerang 15310

Abstrak

Proses pembuatan generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc berbasis PZC pada dasarnya terdiri dari 4 tahap yaitu penyerapan ⁹⁹Mo pada PZC, pengisian kompleks ⁹⁹Mo-PZC ke dalam kolom, perakitan generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc dan pengelusan ^{99m}Tc dari kolom generator. Penelitian proses tersebut secara manual menghasilkan radionuklida ^{99m}Tc dengan mutu yang sama dengan generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc dari hasil fisi. Hasil uji coba secara pre klinis dan klinis juga telah berhasil dilakukan melalui kerjasama dengan beberapa Rumah Sakit di Indonesia. Sebagai pengembangan lebih lanjut ke arah tingkat produksi, melalui kerjasama BATAN dan KAKEN Co. Jepang, telah berhasil dibuat prototipe *Automatic loading system* yang dapat melakukan tahap penyerapan ⁹⁹Mo pada PZC, pencucian kompleks serta pemindahan kompleks ke kolom perakitan secara otomatis. Sistem ini mempunyai kelemahan sehingga perlu dilakukan beberapa modifikasi terutama pada sistem pencampuran ⁹⁹Mo-PZC. Modifikasi pada sub sistem pencampuran seperti pengisian ⁹⁹Mo ke *vial* reaksi dan pengocokan campuran ⁹⁹Mo-PZC telah berhasil dikerjakan dan berfungsi dengan baik, walaupun pengisian 20 ml larutan ⁹⁹Mo ke *vial* reaksi perlu dilakukan 2 kali. Hasil modifikasi pada sistem pengocokan menunjukkan bahwa sistem ini berjalan dengan baik.

Kata Kunci : generator, PZC, ⁹⁹Mo, ^{99m}Tc, *automatic loading system*

Abstract

Process of generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc based on PZC basically consist of 4 phase that is absorption of ⁹⁹Mo at PZC, loading ⁹⁹Mo-PZC complex into column, assembling of generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc and elution of ^{99m}Tc from column generator. The research of process manually yielded ^{99m}Tc radionuclide with same quality with generator ⁹⁹Mo/^{99m}Tc from fission product. Pre clinical and clinical tests have been successfully done through cooperation with a few Hospital in Indonesia. Further development towards production rate, through cooperation BATAN and KAKEN Co. Japan, have successfully made the prototype automatic loading system available for doing work of absorption of ⁹⁹Mo at PZC, washing of complex and also evacuation of complex to assembling column automatically. Existence of weakness from this system make require its some modifications especially at ⁹⁹Mo-PZC mixing systems. Modification results at the filling system of ⁹⁹Mo to reacted *vial* and mixing system of ⁹⁹Mo-PZC have successfully done. For filling of 20 ml of ⁹⁹Mo reaction *vial* need to be done 2 times. Modification result at mixing system indicated that this system run better.

Keywords : generator, PZC, ⁹⁹Mo, ^{99m}Tc, automatic loading system

PENDAHULUAN

Pengembangan gel generator zirconium molibdat atau titanium molibdat dengan ^{99}Mo aktivitas spesifik rendah yang dihasilkan dari reaksi (n, γ) merupakan salah satu alternatif dalam penyediaan ^{99m}Tc untuk keperluan kedokteran nuklir. Pada tahun 1994-1999 berdasarkan kerjasama antara Kaken Co. Jepang dengan JAERI, telah berhasil disintesa suatu senyawa polimer anorganik dengan nama PZC (poly zirconium compound) yang mempunyai daya serap sebesar ~ 250 mg Mo/g PZC. Penemuan ini telah memberikan harapan baru untuk membuat generator ^{99m}Tc dari ^{99}Mo hasil reaksi (n, γ) dengan harga yang jauh lebih murah dari yang ada pada saat ini (^{99}Mo dari hasil fisi)^[1,2]. Pada tahun 2000-2003, dengan adanya kerjasama antara BATAN dengan Kaken Co. Jepang, telah dilakukan berbagai penelitian yang berkaitan dengan kemungkinan untuk pembuatan generator ^{99m}Tc dari ^{99}Mo hasil reaksi (n, γ) dengan PZC^[2,3].

Proses pembuatan generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ terdiri dari beberapa tahap yaitu proses penyerapan ^{99}Mo pada PZC, pengisian kompleks ^{99}Mo -PZC ke dalam kolom perakitan, perakitan generator dan elusi generator dengan larutan salin. Tahap pertama yaitu proses penyerapan ^{99}Mo pada PZC merupakan tahap kritis dalam pembuatan generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ berbasis PZC karena hasil dari tahap ini akan berpengaruh pada hasil akhir seperti rendemen dan kualitas ^{99m}Tc hasil elusi. Dalam tahap ini dilakukan proses pencampuran ^{99}Mo dengan PZC, pemanasan campuran selama 3 jam pada suhu 90°C dan pengocokan campuran selama reaksi berjalan (3 jam). Total pengerjaan pada tahap ini memerlukan waktu 5 jam dari 7 jam keseluruhan waktu proses pembuatan generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ berbasis PZC (Tabel 1). Sebagai pengembangan lebih lanjut untuk tujuan skala produksi generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$, maka pada awal tahun 2006 kerjasama antara PRR BATAN dan Kaken Co telah berhasil membuat alat *automatic loading system* dimana proses penyerapan ^{99}Mo pada PZC, pengocokan reaksi ^{99}Mo -PZC dan pemindahan kompleks ^{99}Mo -PZC dilakukan secara otomatis. Dengan adanya *automatic loading system* untuk generator $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ ini diharapkan dapat mengurangi risiko radiasi pada pekerja juga dapat memperpendek waktu pengerjaan. Dalam satu kali proses, sistem ini dapat menghasilkan 8 buah generator dengan waktu perakitan total sekitar 5-6 jam (Gambar 1)^[2,3,4,5].

Tabel 1. Proses Pembuatan Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ berbasis PZC (8 buah)

No	Tahapan proses	Waktu (jam)
1.	Penyerapan ^{99}Mo pada PZC :	
	A. Pencampuran ^{99}Mo dengan PZC dalam kolom reaksi	1,5
	B. Pemanasan campuran reaksi pada suhu $90\text{ }^{\circ}\text{C}$	3
2.	Pengisian kompleks ^{99}Mo -PZC kedalam kolom perakitan	
	A. Pemindahan ^{99}Mo ke kolom reaksi dan pencucian kompleks ^{99}Mo -PZC	1,5
	B. Pemindahan kompleks ^{99}Mo -PZC ke kolom perakitan	1
3.	Perakitan generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$	1
4.	Elusi $^{99\text{m}}\text{Tc}$ dari generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ berbasis PZC	0,5

Dari hasil beberapa kali percobaan perakitan generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ dengan *automatic loading system*, ditemukan adanya beberapa kelemahan diantaranya:

1. pengisian larutan ^{99}Mo dilakukan satu persatu, sehingga untuk mengisi 8 *vial* reaksi memerlukan waktu yang lama.
2. sistem pengocokan campuran reaksi ^{99}Mo dengan PZC dilakukan dengan menggoyangkan piringan tempat *vial* reaksi, sehingga hanya bagian airnya saja yang bergerak, sehingga reaksi pencampuran kurang sempurna; hal ini ditunjukkan dengan rendahnya kapasitas serap PZC terhadap ^{99}Mo dibandingkan dengan cara manual.
3. sistem pemindahan kompleks ^{99}Mo -PZC ke kolom perakitan dilakukan satu persatu, sehingga waktu yang diperlukan menjadi lama

Dalam rangka untuk meningkatkan kualitas hasil produksi dan mengefisienkan waktu perakitan, perlu dilakukan beberapa modifikasi pada *automatic loading system* tersebut. Dari beberapa modifikasi yang perlu dilakukan, pada tahap awal dicoba untuk melakukan

Modifikasi dalam sistem penyerapan ^{99}Mo pada PZC dalam kolom reaksi dan juga pada sistem pengocokan selama pemanasan. Dari tahap modifikasi ini diharapkan dapat menghasilkan beberapa perbaikan, antara lain waktu produksi yang lebih pendek dan juga dapat meningkatkan mutu generator, yang pada gilirannya nanti akan dapat meningkatkan daya saing baik nasional maupun internasional.

TATA KERJA

Bahan dan Peralatan

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah senyawa MoO_3 yang diperoleh dari Fluka. Senyawa PZC (poly zirconium compound)

diperoleh dari Kaken Co., Jepang, dengan kapasitas serap 200-240 mg molibdenum/gram PZC. Peralatan gelas seperti kolom, beaker glas, erlenmeyer, gelas ukur dan pipet ukur menggunakan bahan dari gelas Pyrex. Semua bahan logam yang digunakan untuk keperluan perakitan menggunakan bahan dari baja tahan karat dan sebagian dari aluminium.

Modifikasi Automatic Loading System Untuk Generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Berbasis PZC.

Modifikasi terhadap automatic loading system generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ berbasis PZC, dilakukan dengan menggabungkan 2 sistem yang sudah ada (pengisian larutan Mo dan pengocokan campuran Mo/PZC dalam vial reaksi) yang tadinya terpisah menjadi satu kesatuan; juga sistem pengisian Mo yang semula satu-persatu dimodifikasi menjadi satu kali pengisian untuk 8 vial reaksi. (Gambar 1 dan Gambar 2).

Kalibrasi Volume Sistem Pengisian Molibdenum

Kalibrasi volume pengisian larutan ^{99}Mo ke dalam 8 buah vial reaksi dilakukan dengan menampung hasil pengisian dari *loading system* menggunakan *syringe* 30 ml. Pengisian dan penampungan diulang beberapa kali untuk mendapatkan hasil keterulangan yang baik.

Uji Coba Pengocokan Larutan Campuran ^{99}Mo -PZC

Pengujian pengocokan campuran larutan ^{99}Mo dan PZC dengan *loading system* hasil modifikasi dilakukan dengan menyedot cairan dalam 8 buah vial reaksi sekaligus dan meniupkan lagi sehingga PZC terdispersi dalam larutan ^{99}Mo dalam vial reaksi. Pengocokan dilakukan setiap 15 menit.

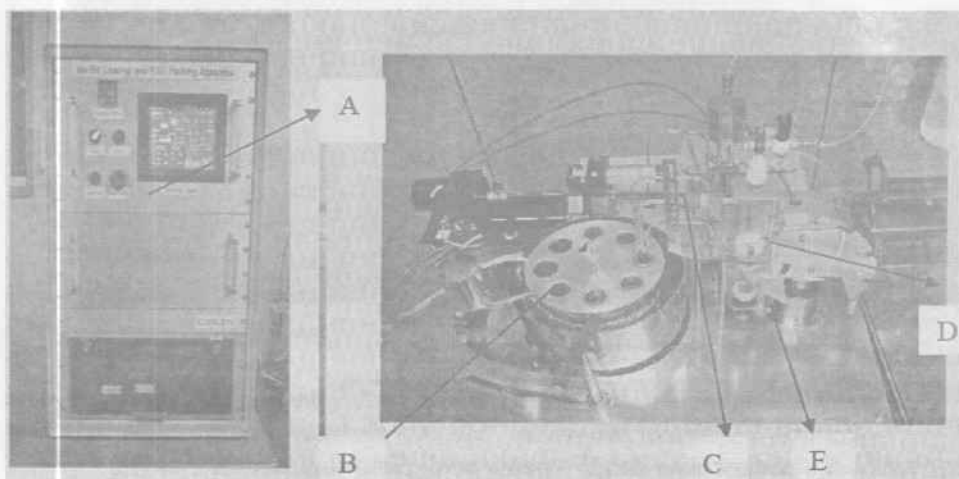
HASIL DAN PEMBAHASAN

Perakitan generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ berbasis PZC yang dilakukan secara manual, dapat dibagi dalam 4 tahapan yaitu penyerapan ^{99}Mo pada PZC, pencucian kompleks ^{99}Mo -PZC, pemindahan kompleks ^{99}Mo -PZC ke dalam kolom dan perakitan generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$. Seluruh proses yang dilakukan secara manual memerlukan waktu yang cukup lama yaitu 7-8 jam. Untuk menghindari paparan radiasi yang tinggi, mengefisienkan waktu perakitan dan meningkatkan mutu generator; tahap penyerapan ^{99}Mo pada PZC (pengisian ^{99}Mo ke vial reaksi, pencampuran ^{99}Mo dengan PZC, pengocokan campuran ^{99}Mo dan PZC) sampai dengan tahap pemindahan kompleks ^{99}Mo -PZC ke kolom perakitan dapat dilakukan secara otomatisasi (Tabel 2).

Tabel 2. Perbandingan Waktu Proses Tahap Otomatisasi Awal dan Pasca Modifikasi

No. Tahap	Nama tahap	Tahap Otomatisasi (jam)	
		Awal	Pasca Modifikasi
1.	Penyerapan ^{99}Mo pada PZC :		
	Pencampuran ^{99}Mo dengan PZC dalam kolom reaksi	1,5	0,25
	Pemanasan campuran reaksi pada suhu 90 °C	3	3
2.	Pengisian kompleks ^{99}Mo -PZC kedalam kolom perakitan		
	Pemindahan ^{99}Mo ke kolom reaksi dan pencucian kompleks ^{99}Mo -PZC	1,5	0,5
	Pemindahan kompleks ^{99}Mo -PZC ke kolom perakitan	1	0,25

Realisasi otomatisasi bagian tersebut telah berhasil dilakukan melalui kerjasama antara BATAN-Kaken Co. Jepang (Gambar 1 dan Lampiran 1) menghasilkan prototipe suatu alat yang disebut sebagai *automatic loading system*. Pada prinsipnya alat ini terbagi menjadi 2 bagian utama yaitu alat pengontrol dan *loading system*.

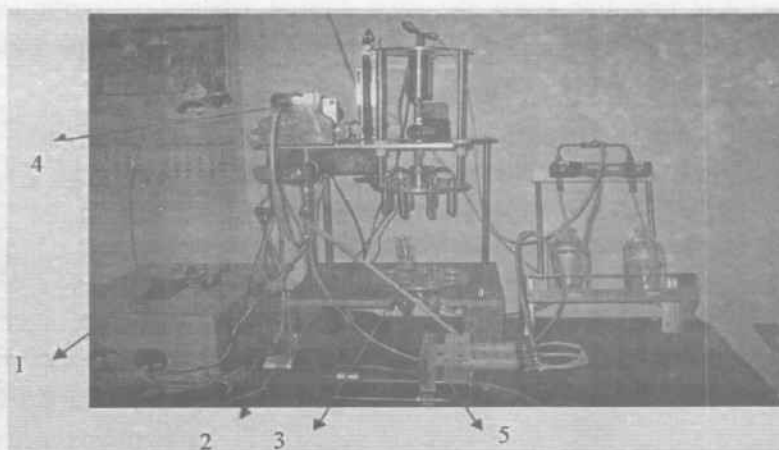


Gambar 1. Alat *Automatic Loading system* hasil kerjasama BATAN dan Kaken Co. Jepang (A = Alat kontrol, B = vial reaksi, C = *tubing* pemindah kompleks ^{99}Mo -PZC dari vial reaksi ke kolom, D = kolom pencucian dan E = kolom perakitan)

Alat pengontrol A berfungsi untuk mengoperasikan semua proses pada bagian sistem pengisian. Pada vial reaksi (B), dilakukan pengisian PZC, pengisian ^{99}Mo , pengocokan campuran ^{99}Mo dengan PZC dan merupakan tempat terjadinya reaksi ^{99}Mo -PZC selama 3 jam pada suhu 90 °C. Tabung pemindah kompleks (C) berfungsi untuk memindahkan kompleks ^{99}Mo -PZC hasil reaksi ke kolom pencucian (D), dimana disini partikel halus dalam

campuran dibuang melalui saluran pembuangan yang terdapat pada kolom D dan kompleks dipindahkan dari (D) ke kolom perakitan (E) untuk dirakit dalam bentuk generator yang utuh (Gambar 1). Kalkulasi waktu yang diperlukan untuk suatu proses perakitan 8 buah generator adalah pencampuran ^{99}Mo dengan PZC dalam kolom reaksi (1,5 jam), pemanasan (3 jam), pemindahan kompleks Mo-PZC ke kolom D dan pencucian kompleks (1,5 jam), pemindahan kompleks ke kolom perakitan (1 jam) serta perakitan dan pengelusan $^{99\text{m}}\text{Tc}$ dari kolom generator (1,5 jam) sehingga waktu total yang diperlukan selama 8,5 jam.

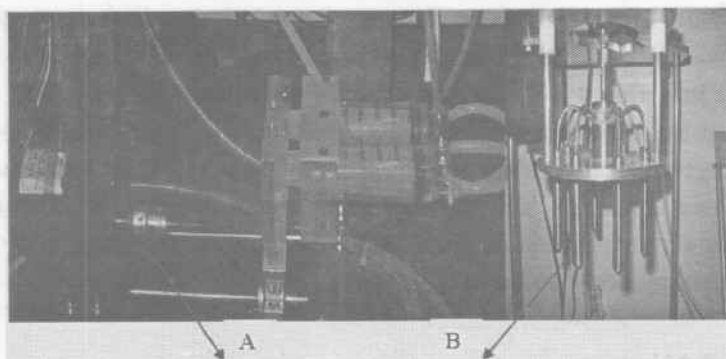
Dari rangkaian proses diatas, mengingat pentingnya proses yang terjadi pada *vial* reaksi (B) dan juga lamanya waktu yang diperlukan pada bagian proses ini, maka dilakukan modifikasi pada bagian ini dengan bentuk akhir seperti terlihat pada Gambar 2 dan Lampiran 2.



Gambar 2. Bagian alat *Automatic loading system* hasil modifikasi (1 = alat kontrol, 2 = sistem pengisian ^{99}Mo , 3 = *vial* reaksi , 4 = pengendali pengocokan dan 5 = pengendali pengisian larutan ^{99}Mo)

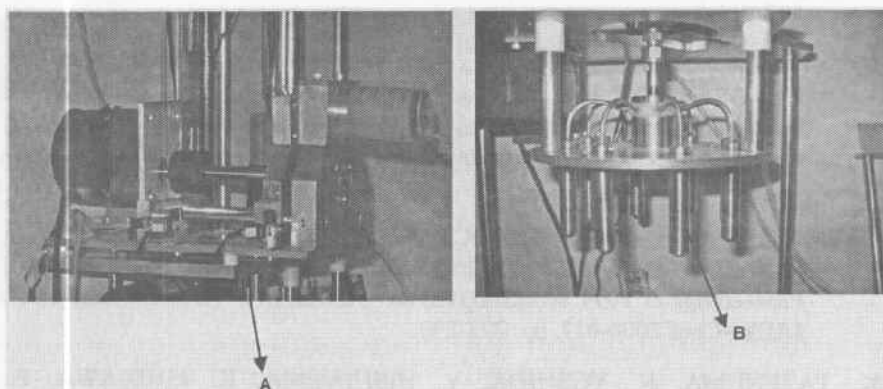
Alat kontrol (1) berfungsi untuk mengatur proses reaksi dalam *vial* reaksi dan sistem pengocokan. Selama reaksi antara ^{99}Mo dan PZC berjalan (3 jam, pada suhu $90\text{ }^{\circ}\text{C}$), pengaturan suhu reaksi dan waktu reaksi masih tetap menggunakan alat pengontrol *Automatic loading machine* yang lama. Modifikasi yang dilakukan pada bagian proses ini adalah tahap penyerapan ^{99}Mo pada PZC yang terdiri dari bagian pengisian ^{99}Mo ke *vial* reaksi yang awalnya dilakukan satu per satu setelah modifikasi pengisian dapat dilakukan sekaligus untuk 8 *vial* reaksi (Gambar 3). Modifikasi lainnya dilakukan pada bagian pengocokan campuran reaksi dalam *vial* reaksi yaitu awalnya hanya menggoyangkan wadah reaksi yang ternyata tidak efisien, karena yang bergerak hanya bagian cairan atas saja sedangkan campuran ^{99}Mo dan PZC

tidak bergerak sama sekali yang mengakibatkan reaksi kurang sempurna dengan kapasitas adsorpsi < 60 % (Gambar 4).



Gambar 3. Bagian sistem pengisian ^{99}Mo hasil modifikasi dari *Automatic loading* (A= pompa pengendali sistem pengisian ^{99}Mo , B = *tubing* pengisian ^{99}Mo)

Dengan menggunakan pompa pada bagian pengendali sistem pengisian ^{99}Mo (A), ^{99}Mo diambil dari botol larutan ^{99}Mo dan dipompakan ke 8 buah *vial* reaksi sekaligus. Hasil kalibrasi volume menggunakan bejana berskala (dilakukan sebanyak 5 kali), untuk memperoleh volume larutan ^{99}Mo sebanyak 20 ml, diperlukan 2 kali pengulangan pengisian. Dengan perhitungan aktivitas generator $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ ~200 mCi pada saat kalibrasi (3 hari setelah proses) maka diperlukan aktivitas larutan ^{99}Mo sebesar 640 mCi/20 ml (dengan asumsi ^{99}Mo yang terikat dengan PZC ~ 80 %). Dari perhitungan diatas, maka konsentrasi radioaktif larutan ^{99}Mo adalah 32 mCi/ml.



Gambar 4. Bagian sistem pengocokan campuran ^{99}Mo -PZC dalam *vial* reaksi dari *Automatic loading* (A= pompa pengendali sistem pengocokan ^{99}Mo , B = 8 buah *tubing* sistem pengocokan campuran ^{99}Mo -PZC)

Selama reaksi berjalan dalam *vial* reaksi (3 jam, 90 °C) diperlukan pengocokan 12 kali, hal ini dilakukan untuk memperbesar kontak permukaan antara ^{99}Mo dengan PZC. Proses pengocokan dilakukan dengan memompakan udara dari tabung B (8 buah) ke *vial* reaksi (8 buah) yang terdapat campuran PZC dengan ^{99}Mo . Pengujian fungsi dari sistem pengocokan ini dilakukan dengan menggunakan PZC tanpa ^{99}Mo dalam *vial* reaksi, pengocokan dilakukan setiap 15 menit sekali dengan menggunakan pompa A dan tabung B. Keberhasilan kerja sistem pengocokan ditunjukkan dengan terjadinya pergerakan baik larutan maupun PZC yang ada di *vial* reaksi selama pengocokan berlangsung.

KESIMPULAN

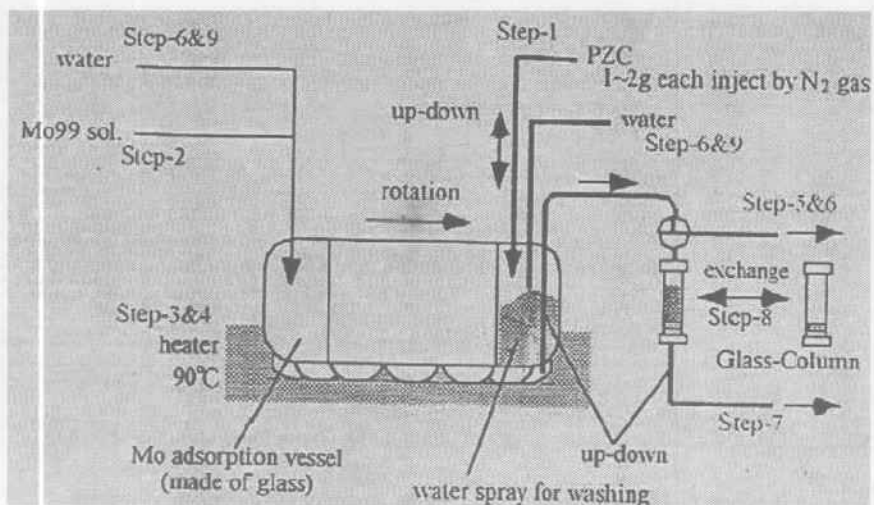
Dengan adanya perbaikan pada sistem *Automatic loading system* yaitu modifikasi pada bagian penyerapan ^{99}Mo pada PZC dalam *vial* reaksi telah dapat meningkatkan kinerja dari sistem ini yaitu berkurangnya waktu perakitan pada bagian ini dari 4,5 jam menjadi 3,25 jam (Tabel 2). Rencana penelitian selanjutnya akan dilakukan modifikasi pada bagian pemindahan kompleks ^{99}Mo -PZC dari saat ini yang satu persatu menjadi 8 buah sekaligus, sehingga diharapkan waktu total produksi akan dapat dipersingkat lagi dari 8,5 jam menjadi menjadi 5,5 jam.

DAFTAR PUSTAKA

1. TANASE M., TATENUMA K., ISHIKAWA K., KUROSAWA K., NISHINO M., HASEGAWA Y., 1997, "A ^{99}mTc generator using a new inorganic polymer adsorbent for (n, γ) ^{99}Mo ", Appl. Radiat. Isot. Vol. 48, No. 5, pp. 607-611.
2. HASEGAWA Y., NISHINO M., ISHIKAWA K., TATENUMA K., KUROSAWA K., 1997, "A new organic Adsorbent of (n, γ) Mo-99 for the Practical Generator", Proceedings of 1997 Workshop on the Utilization of Research Reactors, Bandung, Indonesia, 1998, November 10 - 13, pp. 3-14.
3. TATENUMA K., ISHIKAWA K., NISHINO M., HASEGAWA Y., KUROSAWA K., 2000, "A Practical Generator Using (n, γ) Mo-99", Proceedings of 1999 Workshop on the Utilization of Research Reactors", JAERI-Conf 2000-017, pp. 223-232.
4. K. TATENUMA, K. YOSHIDA, Y. HISHINUMA, K. ISHIKAWA, H. TERUNUMA, 2004, "Performances and present situation of PZC for (n, γ) ^{99}Mo - ^{99}mTc Generator", JAERI-Conf 2004-010.

5. A. MUTALIB, A.H. GUNAWAN, H. LUBIS, R. AWALUDDIN, HAMID, SULAEMAN, 2001, "A Performance Evaluation of (n, γ) $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ Generators Produced by Using PZC Materials and Irradiated Natural Molybdenum", Proceedings of 2001 Workshop on the Utilization of Research Reactors, Beijing China, November.

LAMPIRAN 1



Gambar 5. Prinsip Kerja Automatic Loading System

