

SISTEM PNEUMATIK MEKANISME LALUAN IRADIASI PADA IRADIATOR MERAH PUTIH

Ari Satmoko, Hyundianto Arif Gunawan
Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir - BATAN
Gedung 71 Kawasan PUSPIPTEK Serpong, Tangerang Selatan 15310

ABSTRAK

SISTEM PNEUMATIK MEKANISME LALUAN IRADIASI PADA IRADIATOR GAMMA MERAH PUTIH. BATAN mengembangkan Iradiator Gamma Merah Putih. Iradiator dirancang untuk tujuan multi guna di antaranya adalah untuk pengawetan bahan pangan, fitosanitari, sterilisasi alat-alat kesehatan, dan sebagainya. Produk-produk yang akan diiradiasi diangkut menggunakan kotak tote yang dimasukkan ke dalam ruang iradiasi dan menjalani mekanisme laluan iradiasi. Kotak-kotak tote bergerak menjalani lintasan mengitari sumber radioaktif menggunakan mekanisme pneumatik. Makalah ini membahas desain, fabrikasi dan pengujian sistem pneumatik mekanisme laluan iradiasi di dalam bunker. Secara keseluruhan dibutuhkan 14 silinder pneumatik. Kombinasi gerakan sistem pneumatik dirancang sedemikian sehingga ketika satu siklus pneumatik dieksekusi, setiap jalur laluan telah menggeser tote yang ada pada jalurnya satu langkah. Pengujian secara mandiri menunjukkan bahwa konstruksi silinder-silinder pneumatik telah sesuai dengan desain. Parameter waktu untuk gerakan maju dan mundur masing-masing silinder diperoleh. Parameter ini kelak akan berguna pada saat perawatan. Pengujian sistem pneumatik setelah diintegrasikan dengan sistem control menunjukkan hasil yang memuaskan. Secara rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus gerakan mekanisme laluan iradiasi adalah 65 detik. Karena terdapat 72 siklus, waktu iradiasi minimum yang dapat diterima produk menjadi sekitar 78 menit. Dosis iradiasi yang akan diterima produk bergantung pada moda rak sumber yang diaktifkan.

Kata kunci: iradiator, gamma, laluan iradiasi, pneumatik

ABSTRACT

THE PNEUMATIC SYSTEM OF THE SOURCE PASS MECHANISM ON THE GAMMA IRRADIATOR MERAH PUTIH. BATAN has developed a Gamma Irradiator Merah Putih. The irradiator is designed as multi purposes such as for food preservation, phytosanitary, sterilization of medical devices, and so on. The products to be irradiated are transported using tote boxes going into the irradiation chamber and undergoing the source pass mechanism. Tote boxes move through a track around a radioactive source using a pneumatic mechanism. This paper discusses the design, fabrication and testing of the pneumatic system of source pass mechanisms within the bunker. In overall, it takes 14 pneumatic cylinders. The movement combination of pneumatic system is designed so that when a pneumatic cycle is executed, each source pass mechanism has moved any tote on it one position. Independent testing indicates that the construction of pneumatic cylinders has been in accordance with the design. The time parameters for forward and backward movement of each cylinder are obtained. These parameters will be useful later in the maintenance. After being integrated with the control system, testing showed satisfactory results. The average time required for a cycle of source pass mechanism is 65 seconds. Since there are 72 cycles, the minimum irradiation time of the product becomes approximately 78 minutes. The irradiation dose that the product will receive depends on the mode of the activated source rack.

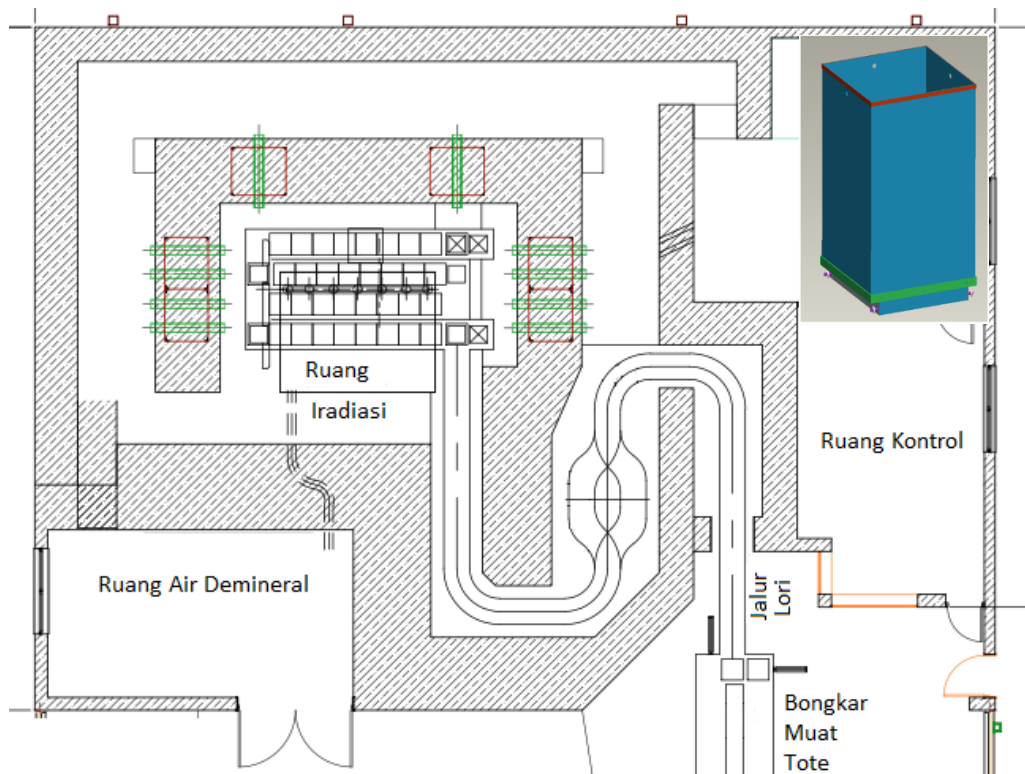
Keywords: iradiator, gamma, source pass, pneumatic

1. PENDAHULUAN

BATAN mengembangkan prototip Iradiator Gamma Merah Putih dengan desain kapasitas hingga 2 MCi. Untuk tahap inialisasi, Iradiator telah diisi dengan sumber Cobalt-60 dengan kapasitas total sekitar 300 kCi. Fasilitas Iradiator dirancang untuk tujuan multi guna di antaranya adalah untuk pengawetan bahan pangan, fitosanitari, sterilisasi alat-alat kesehatan, dan sebagainya[1]. Desain mengacu pada iradiator yang dikembangkan oleh Institute of Izotope - Hungaria[2].

Dalam keadaan tidak dioperasikan, sumber radioaktif disimpan di dalam kolam air berukuran 3,6x2,8x6,0 m³. Air demineral berfungsi sekaligus sebagai pendingin dan *shielding*. Pada saat akan dioperasikan, sumber diangkat hingga di atas permukaan kolam. Beton berbentuk labirin dengan ketebalan hingga lebih dari 1,8 m berfungsi sebagai *shielding*.

Produk-produk yang akan diiradiasi diangkut menggunakan kotak tote. Kotak-kotak tote ini dimasukkan ke dalam ruang iradiasi dan menjalani mekanisme laluan iradiasi di mana kotak-kotak tote berisi produk bergerak menjalani lintasan mengitari sumber radioaktif (Lihat Gambar 1). Pergerakan kotak tote menggunakan mekanisme pneumatik. Proses gerakan perpindahan kotak-kotak tote dalam mekanisme laluan iradiasi inilah yang menjadi bahasan dalam makalah ini dengan tujuan untuk dapat digunakan sebagai referensi dalam pengoperasian maupun perawatan di kemudian hari. Pembahasan meliputi pengembangan desain, proses fabrikasi dan pengujian sistem pneumatik mekanisme laluan iradiasi di dalam bunker.



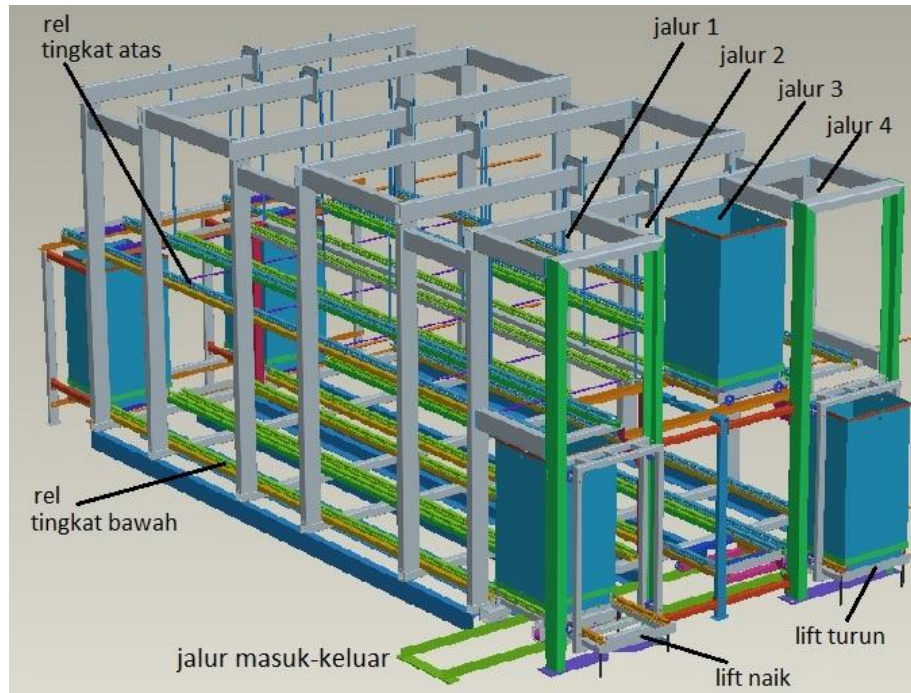
Gambar 1. Mekanisme laluan iradiasi di dalam bunker (insert: kotak tote)

2. TEORI

Iradiator yang dibangun dan dibahas dalam makalah ini merupakan iradiator Kategori IV. Sumber gamma yang digunakan adalah Cobalt-60. Pada saat tidak digunakan sumber ini disimpan dalam sebuah kolam berisi air. Pada saat akan

dioperasikan, sumber diangkat hingga di atas permukaan kolam. Manusia tidak boleh masuk ke dalam ruang iradiasi selama operasi.

Di luar bunker (ruang bongkar muat tote), produk yang akan diiradiasi dikemas dan dimasukkan ke dalam kotak tote. Kotak tote ini dikirimkan menggunakan lori masuk ke dalam ruang iradiasi. Akses masuk dan keluar barang melalui pintu yang sama. Lintasan pergerakan produk dalam mekanisme laluan iradiasi diilustrasikan dalam Gambar 2. Lintasan memiliki dua tingkat dan masing-masing tingkat menyediakan empat jalur. Pergerakan aksial di dalam sebuah jalur, perpindahan antar jalur dan perpindahan tingkat dengan bantuan lift menggunakan mekanisme pneumatik. Sistem pneumatik menggunakan udara bertekanan sebagai fluida/media penggerak. Tekanan operasi udara pneumatik sekitar 6 bar.



Gambar 2. Mekanisme laluan iradiasi

Iradiator Merah Putih menyediakan 2 moda pengoperasian: *batch* dan *continue*[3]. Dalam moda *batch*, produk yang akan diiradiasi dimasukkan ke dalam bunker terlebih dahulu. Sebanyak 72 kotak tote dapat diiradiasi sekaligus. Setelah produk penuh, sumber radioaktif diangkat. Selanjutnya supaya mendapatkan dosis iradiasi yang seragam, kotak-kotak tote menjalani mekanisme laluan iradiasi dengan cara digeser-geser mengitari sumber radioaktif. Dengan demikian masing-masing kotak tote akan menempati 72 posisi yang berbeda. Semakin lama produk diiradiasi, semakin tinggi dosis iradiasi yang diperoleh. Setelah proses iradiasi selesai, sumber radioaktif diturunkan kembali ke dasar kolam. Kotak-kotak tote dikeluarkan dan produk dibongkar.

Di dalam moda *continue*, kotak-kotak tote diisi dengan dummy dengan densitas yang sama dengan produk yang akan diiradiasi. Sumber radioaktif diangkat dan satu per satu kotak tote baru berisi produk dimasukkan mengganti kotak tote berisi *dummy*. Begitu seterusnya hingga 72 *dummy* tergantikan dengan produk. Selanjutnya satu per satu kotak tote produk baru masuk dan pada saat bersamaan produk yang telah diiradiasi selesai. Di dalam bunker, setiap kotak tote akan menjalani mekanisme laluan iradiasi yang sama dengan moda *batch*. Proses iradiasi dilanjutkan hingga produk yang akan diiradiasi telah habis.

3. TAHAPAN

Pembahasan dibatasi pada mekanisme laluan iradiasi di dalam bunker iradiator yang meliputi desain, fabrikasi dan pengujian. Desain merupakan tahapan untuk menggambarkan cara kerja mekanisme laluan iradiasi dan untuk merencanakan kegiatan konstruksi. Kegiatan fabrikasi dan instalasi bertujuan merealisasikan desain yang telah dikembangkan. Kegiatan diakhiri dengan pengujian unjuk kerja mekanisme laluan iradiasi untuk memeriksa apakah konstruksi yang telah dibuat telah berfungsi sebagaimana desain yang diinginkan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Desain

Di dalam bunker, kotak tote akan menjalani lintasan mulai dari tingkat atas dari jalur 1, pindah ke jalur 2, 3 dan 4. Selanjutnya kotak tote akan turun ke tingkat bawah dengan melintasi jalur 4, pindah ke jalur 3, 2 dan 1. Untuk dapat memenuhi gerakan tersebut maka dibutuhkan 8 silinder pneumatik untuk gerakan aksial dalam jalur, 6 silinder pneumatik untuk gerakan pindah jalur dan 2 silinder untuk gerakan naik dan turun tingkat. Untuk menghemat, perpindahan jalur dari jalur 1 ke 2 dan dari jalur 3 ke 4 dijadikan satu baik untuk masing-masing tingkat atas maupun tingkat bawah. Dengan demikian secara keseluruhan dibutuhkan 14 silinder pneumatik. Tabel 1 berikut mendaftarkan keseluruhan silinder pneumatik yang digunakan dalam mekanisme laluan iradiasi.

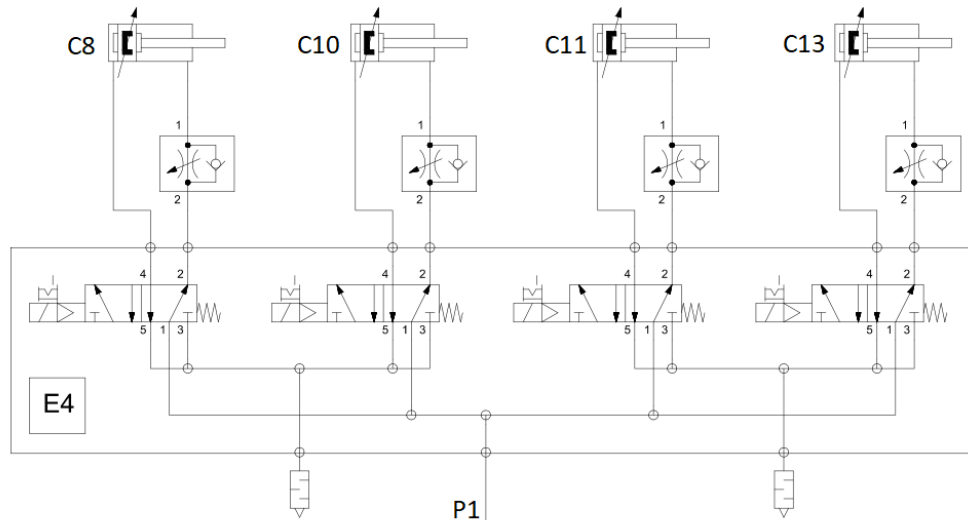
Tabel 1. Daftar silinder pneumatik

No	Nama Silinder	Fungsi	Keterangan
1	C1	lift untuk tote naik	
2	C2	lift untuk tote turun	
3	C3	pindah jalur 2 tote bawah	
4	C4	pindah jalur 1 tote bawah	
5	C5	pindah jalur 2 tote bawah	
6	C6	pindah jalur 1 tote atas	
7	C7	jalur 1 bawah sisi mirror	
8	C8	jalur 2 bawah sisi lori	
9	C9	jalur 3 bawah sisi mirror	
10	C10	jalur 4 bawah sisi lori	
11	C11	jalur 1 atas sisi lori	
12	C12	jalur 2 atas sisi mirror	
13	C13	jalur 3 atas sisi lori	
14	C14	jalur 4 atas sisi mirror	

Sistem pneumatik terdiri dari silinder, kotak kontrol, katup pengatur arah, katup pengatur kecepatan, katup buang, sensor posisi dan *silencer*. Untuk penghematan, beberapa komponen dikumpulkan dan dikelompokkan menjadi satu seperti perpipaan induk, kotak kontrol dan *silencer*.

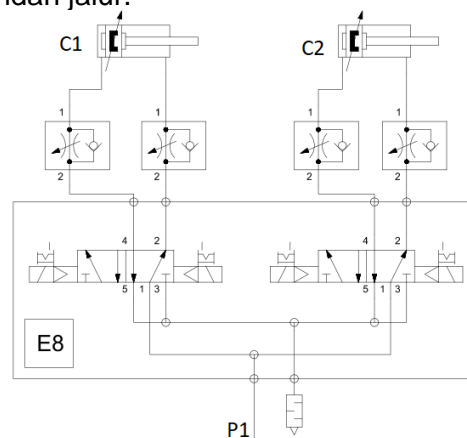
Sebagai contoh, untuk gerakan aksial pada jalur laluan iradiasi sisi kiri dikelompokkan menjadi satu dalam kotak control E4 (lihat rangkaian pneumatik Gambar 3). Silinder C8, C10, C11 dan C12 menjadi satu kelompok. Gerakan maju atau mundur silinder diatur oleh katup pneumatik 5/2 dengan katup solenoid dan kembali dengan pegas. Jika solenoid diaktifkan, udara bertekanan P1 masuk ke silinder sisi kiri melalui katup 5/2 *nozzle* 1 dan 4. Udara sisi kanan piston silinder dibuang melalui katup 5/2 *nozzle* 2 dan 1 serta *silencer*. Ketika mendorong, silinder-silinder ini menggerakkan kotak tote maju dengan kecepatan yang diatur

menggunakan *checkchoke valve*. Pengaturan kecepatan dilakukan dengan pengaturan bukaan *checkchoke valve* secara manual. Ketika solenoid tidak aktif, gaya pegas mengembalikan kedudukan semula. Udara masuk ke silinder sisi kanan melalui katup 5/2 *nozzle* 1 dan 2. Pada gerakan mundur, silinder tidak lagi mendapat beban sehingga tidak perlu pengaturan kecepatan. Dengan skema kerja yang serupa, silinder–silinder sisi kanan C7, C9, C12 dan C14 juga dikelompokkan menjadi satu.



Gambar 3. Rangkaian pneumatik gerakan aksial dalam satu jalur[4]

Gerakan *lift* vertikal dan pindah jalur dilengkapi dengan semacam pengangkut. Kotak tote dimasukkan ke dalam pengangkut tersebut, dan dipindahkan ke jalur atau tingkat lain. Setelah pindah jalur atau pindah tingkat, kotak tote didorong dengan mekanisme pneumatik lain sehingga keluar dari pengangkut tersebut. Setelah kosong, pengangkut kembali *stand by*. Silinder pneumatik membutuhkan waktu jeda antara gaya dorong dan gaya tarik. Berbeda dengan desain pada gerakan aksial satu jalur sebelumnya, katup solenoid yang digunakan adalah ganda (tanpa pegas). Kecepatan gerakan juga dikontrol baik pada waktu dorong maupun tarik. Prinsip kerja gerakan *lift* ditunjukkan dalam Gambar 4 kiri. Dalam keadaan *stand by* (menunggu) solenoid kiri diaktifkan sehingga udara bertekanan akan mengisi silinder sisi kiri dan piston terdorong ke kanan (di lapangan dalam keadaan vertikal, posisi bawah). Apabila *lift* telah terisi kotak tote, solenoid kanan diaktifkan sehingga udara bertekanan mengisi sisi silinder kanan C1. Piston terdorong ke kiri (pada kenyataannya dipasang vertikal sehingga bergerak ke atas). Setelah di atas, *lift* menunggu dikosongkan dengan bantuan silinder C11. Cara kerja yang sama diterapkan pada *lift* C2 dan juga silinder C3, C5, C4 dan C6 untuk pindah jalur.



Gambar 4. Rangkaian pneumatik untuk *lift* naik dan turun

Berdasarkan rangkaian pneumatik di atas, dokumen detil untuk konstruksi dikembangkan. Dokumen ini meliputi gambar detil, spesifikasi bahan, datasheet dan dokumen lainnya. Dokumen-dokumen inilah yang akan diacu pada saat konstruksi sistem mekanik.

4.2 Fabrikasi dan instalasi

Berdasarkan prinsip kerja rangkaian pneumatik pada tahap desain, tahap selanjutnya berupa konstruksi. Fabrikasi komponen dan perakitan sistem pneumatik dilakukan oleh kontraktor. Peralatan pneumatik terletak di sisi luar labirin bunker. Sementara gerakan kotak tote berada di dalam bunker. Oleh karena itu, sejak konstruksi sipil, penempatan lubang-lubang pneumatik harus dilakukan secara hati-hati dengan menempatkan pipa carbon steel berdiameter 200 mm (lihat Gambar 4 kiri). Kesalahan posisi pipa hingga ± 100 mm masih dapat ditolerir. Namun kesalahan fatal lebih dari toleransi tersebut akan berakibat pada kegiatan koreksi berupa pengeboran beton setebal 1200 mm.

Selama fabrikasi dan konstruksi mekanik, proses ditekankan pada kepresisian gerakan silinder pneumatik. Posisi silinder pneumatik harus segaris dengan sumbu gerakan kotak tote atau pengangkut yang didorong. Panjang stroke piston juga menjadi hal yang penting. Konstruksi dilakukan berdasarkan pada desain detil yang telah dikembangkan sebelumnya. Gambar 5 tengah dan kanan memberikan beberapa contoh hasil konstruksi sistem pneumatik.



Gambar 5. Persiapan lubang silinder pneumatik saat konstruksi sipil (kiri), penyangga silinder pneumatik setelah terpasang (tengah) dan as piston C12 menembus beton labirin

4.3 Pengujian

Pengujian dilakukan dalam dua tahap: uji mandiri dan uji integrasi. Uji mandiri dilakukan dengan mengoperasikan semua silinder pneumatik satu per satu. Waktu yang dibutuhkan untuk maju ataupun mundur dicatat. Dalam hal ini pengujian dilakukan tanpa beban.

Hasil uji mandiri masing-masing silinder pneumatik ditunjukkan dalam Tabel 2. Dalam beberapa kasus, kecepatan maju-mundur diatur dengan mengatur bukaan *checkchoke valve*. Pengukuran waktu gerakan maju dan mundur dilakukan 3 kali (lihat Tabel 2).

Tabel 2. Waktu tempuh silinder pneumatik tanpa beban

No	Nama Silinder dan fungsi	Waktu gerakan piston (detik)							
		Gerakan maju (+)				Gerakan mundur (-)			
		uji 1	uji 2	uji 3	maks	uji 1	uji 2	uji 3	maks
1	C1: lift naik	8,4	8,5	8,4	8,5	7,0	7,0	7,3	7,3
2	C2: lift turun	7,3	7,4	7,5	7,5	9,3	9,2	9,2	9,3
3	C3: pindah jalur 2 tote bawah	5,8	5,7	5,5	5,8	6,2	6,3	6,4	6,4
4	C4: pindah jalur 1 tote bawah	5,1	5,0	4,9	5,1	6,5	6,2	6,2	6,5
5	C5; pindah jalur 2 tote bawah	6,5	6,3	6,3	6,5	5,8	6,0	5,8	6,0
6	C6: pindah jalur 1 tote atas	5,9	5,7	5,8	5,9	4,8	5,2	4,9	5,2
7	C7: jalur 1 bawah sisi mirror	5,9	5,9	5,8	5,9	3,9	3,9	3,8	3,9
8	C8: jalur 2 bawah sisi lori	5,8	5,9	5,8	5,9	3,8	3,9	3,8	3,9
9	C9: jalur 3 bawah sisi mirror	5,9	5,9	5,8	5,9	3,9	3,9	3,8	3,9
10	C10: jalur 4 bawah sisi lori	5,9	5,8	5,8	5,9	3,8	3,9	3,8	3,9
11	C11: jalur 1 atas sisi lori	5,8	5,9	5,9	5,9	3,9	3,9	3,8	3,9
12	C12: jalur 2 atas sisi mirror	7,8	7,7	7,7	7,8	3,8	3,6	3,6	3,8
13	C13: jalur 3 atas sisi lori	7,8	7,8	7,7	7,8	3,8	3,7	3,6	3,8
14	C14: jalur 4 atas sisi mirror	7,8	7,7	7,7	7,8	3,8	3,6	3,6	3,8

Data waktu tempuh silinder pneumatik sangat bermanfaat di dalam perawatan. Seiring dengan waktu, bagian mekanik akan mengalami degradasi seperti aus, gesekan tinggi dan pengerasan seal pneumatik. Waktu tempuh yang bertambah panjang dapat memberikan indikasi menuju kerusakan.

Setelah uji mandiri berhasil dilakukan, pengujian berikutnya adalah pengoperasian sistem pneumatik setelah diintegrasikan dengan sistem control termasuk pemrograman. Sistem pneumatik dirancang sedemikian sehingga ketika satu siklus pneumatik dieksekusi, setiap jalur laluan telah menggeser tote yang ada pada jalurnya satu langkah. Tentu saja mekanisme kombinasi gerakan-gerakan silinder pneumatik memberikan bermacam-macam pilihan. Dalam desain Iradiator Merah Putih telah diputuskan satu siklus yang terdiri dari 9 langkah dan masing-masing langkah terdiri dari kombinasi beberapa gerakan silinder pneumatik seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 3. Pilihan ini didasarkan pada waktu secepat mungkin untuk menyelesaikan satu siklus dan pertimbangan lain terkait keseragaman dosis radiasi. Produk-produk tertentu membutuhkan dosis iradiasi kecil. Dengan demikian, satu siklus dibuat sesingkat mungkin. Dari Tabel 3, waktu tercepat untuk satu siklus adalah 61,0 detik.

Tabel 3. Satu siklus gerakan pneumatik

Langkah	Gerakan pneumatik						Waktu maksimum terlama
1	C7+	C9+					5,9
2	C7-	C9-					5,9
3	C1-	C3-	C4+				7,3
4	C8+	C10+	C11+	C13+			7,8
5	C8-	C10-	C11-	C13-			3,9
6	C1+	C2-	C3+	C4-	C5-	C6+	9,3
7	C12+	C14+					7,8
8	C12-	C14-					3,8
9	C2+	C5+	C6-				9,3
Waktu total satu siklus tercepat ideal							61,0

Dengan alur gerakan seperti dalam Tabel 3, sistem control diprogram secara otomatis. Pengujian dilakukan dengan menjalankan gerakan satu siklus otomatis. Hasil pengujian yang dilakukan adalah memeriksa apakah semua kotak tote telah berpindah satu posisi. Parameter waktu juga dicatat karena dapat menentukan dosis radiasi minimum yang mungkin diperoleh oleh produk yang dibawa oleh kotak tote.

Hasil pengujian visual menunjukkan bahwa gerakan satu siklus berjalan dengan benar. Setiap satu siklus selesai, kotak tote telah berpindah satu posisi. Gambar 3 menunjukkan bukti tersebut. Sebelum digerakkan posisi kotak tote pada jalur pertama bawah secara urut adalah 45-20-14-50. Namun setelah satu gerakan satu siklus, kotak-kotak tote telah bergeser ke kanan sebagai berikut 07-45-20-68. Kotak tote no 45 dan 20 telah bergeser satu posisi ke kanan. Kotak tote no 14 telah dikeluarkan dari bunker dan diganti dengan kotak tote no 68 yang baru masuk. Kotak tote nomor 50 telah dipindahkan naik ke tingkat atas. Sementara pada tingkat atas, susunan kotak tote 71-33-92-08 telah bergeser satu posisi ke kiri dengan susunan baru 33-92-08-50.



Gambar 5. Uji coba gerakan satu siklus: sebelum (kiri) dan setelah gerakan satu siklus (kanan)

Waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus diukur tiga kali dengan hasil sebagai berikut: 65,3 ; 65,4 ; dan 65,1 detik. Dari uji coba serangkaian siklus gerakan pneumatik diperoleh waktu rata-rata sebesar 65,3 detik dan waktu maksimum adalah 65,4 detik. Jika dibandingkan dengan table sebelumnya, rentang waktu ini lebih lama dari kombinasi gerakan mandiri 61,0 detik. Tambahan waktu dibutuhkan sebagai jeda memastikan bahwa langkah-langkah gerakan pneumatik telah selesai dikerjakan.

Dengan diperolehnya waktu sekitar 65 detik yang dibutuhkan untuk satu siklus ini, maka waktu iradiasi minimum dalam Iradiator Gamma Serbaguna ini dapat diprediksi. Mengingat dalam pengoperasian iradiator terdapat 72 siklus maka waktu iradiasi minimum adalah 4680 detik atau 78 menit. Dosis iradiasi yang akan diterima produk bergantung pada moda rak sumber yang diaktifkan.

Informasi tentang waktu yang dibutuhkan semua silinder pneumatik pada Tabel 1 akan sangat bermanfaat untuk kegiatan perawatan kelak di kemudian hari. Seiring dengan waktu, sistem penumatik akan mengalami degradasi seperti gesekan mekanik, kebocoran seal pneumatik, kerusakan valve dan sebagainya. Dengan demikian kegiatan pemeliharaan sistem pneumatik dapat dilaksanakan dengan melakukan pemeriksaan waktu tempuh silinder pneumatik sebagai salah satu parameter yang dicatat.

5. KESIMPULAN

Fabrikasi mekanisme laluan iradiasi diawali dengan pengembangan desain yang bertujuan agar proses fabrikasi menjadi efisien. Secara keseluruhan dibutuhkan 14

silinder pneumatik. Kombinasi gerakan sistem pneumatik dirancang sedemikian sehingga ketika satu siklus pneumatik dieksekusi, setiap jalur laluan telah menggeser tote yang ada pada jalurnya satu langkah. Fabrikasi komponen dan perakitan sistem pneumatik dilakukan sesuai desain yang dikembangkan. Selama proses konstruksi, focus ditekankan pada kepresisian gerakan silinder penumatik sejak konstruksi sipil.

Pengujian secara mandiri menunjukkan bahwa konstruksi silinder-silinder pneumatik telah sesuai dengan desain. Parameter waktu untuk gerakan maju dan mundur masing-masing silinder juga diperoleh. Parameter ini kelak akan berguna pada saat perawatan. Pengujian sistem pneumatik setelah diintegrasikan dengan sistem control menunjukkan hasil yang memuaskan. Pengujian visual menunjukkan bahwa gerakan satu siklus berjalan dengan benar. Secara rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk satu siklus gerakan mekanisme laluan iradiasi adalah 65 detik. Dengan diperoleh parameter waktu ini, maka waktu minimum iradiasi yang dapat diterima produk dapat diprediksi sekitar 78 menit. Dosis iradiasi yang akan diterima produk bergantung pada moda rak sumber yang diaktifkan.

6. UCAPAN TERIMAKASIH

Kegiatan ini merupakan bagian dari kegiatan Bidang Mekanik, Struktur dan Proses PRFN – BATAN tahun anggaran 2015-2017 yang berjudul “Prototip Irradiator”. Ucapan terimakasih diucapkan kepada PT. Adhi Karya, Tbk, PT. Indra karya dan PT. Kogas Driyap Utama yang telah mensuplai bahan-bahan diskusi.

7. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ari Satmoko, 2016, Program Manual: Evaluasi Desain Dan Pengawasan Pembangunan Prototip Irradiator Gamma Tahap I, PM001-CE01-WBS0-RFN-2016-02.
- [2] Anonym, April 2015, *Main Features of the Facility: Servo Type Multipurpose Gamma Irradiator BATAN*, Izotop – Institute of Isotopes Co., Ltd.
- [3] Anonymous, 2017, *Preliminary Operation And Maintenance Manual For Tbi-8250-140 Type Tote Box Gamma Irradiator 2017 Installed at Jakarta*, Volume 2, Izotop – Institute of Isotopes Co., Ltd, Ref.N. ST1546-2016K.
- [4] Anonim, 2010, Sistem Pneumatik, *As Built Drawing*, PT. Adhi Karya, Tbk., No. SSG-8.