

DESAIN KONSEP SISTEM INSTRUMENTASI DAN KENDALI PADA INSTALASI IRADIATOR GAMMA IR-200K

Achmad Suntoro
Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir-BATAN
suntoro@batan.go.id

ABSTRAK

DESAIN KONSEP SISTEM INSTRUMENTASI DAN KENDALI PADA INSTALASI IRADIATOR GAMMA IR-200K. Desain konsep sistem instrumentasi dan kendali untuk instalasi iradiator gamma IR-200K dibahas dalam makalah ini. IR-200K adalah instalasi panoramic iradiator gamma tipe kolam kategori-IV. Desain konsep ini dibuat mengacu pada persyaratan operasi instalasi iradiator gamma serta literatur tentang instrumentasi & kendali untuk iradiator gamma. Programmable Logic Controller (PLC) menjadi pusat pengendali proses iradiasi dan keselamatannya yang mendapat masukan dari sistem deteksi. Length to Pulse Converter (LPC) digunakan untuk memonitor posisi sumber radiasi maupun gerakan carrier di ruang iradiasi. Semua masukan diproses untuk proses iradiasi dan keselamatan secara melekat.

Kata kunci : instrumentasi, kendali, panoramic iradiator, iradiator gamma, konsep desain.

ABSTRACT

A CONCEPTUAL DESIGN OF INSTRUMENTATION AND CONTROL SYSTEM FOR GAMMA IRRADIATOR IR-200K. A conceptual design of instrumentation and control for gamma irradiator IR-200K is discussed in this paper. IR-200K is a panoramic gamma irradiator pond type of category-IV. The conceptual design is made based on the operational requirement of gamma irradiator as well as other references on instrumentation and control for gamma irradiator. A Programmable Logic Controller (PLC) becomes the central of the controller for both irradiation process and its safety which has inputs from detection system. Length to Pulse Converter (LPC) is used for monitoring of radiation source and the movement of carriers inside the irradiation room. All the inputs are to be processed for irradiation process and safety operation inherently.

Key words: instrumentation, control, panoramic irradiator, gamma irradiator, conceptual design.

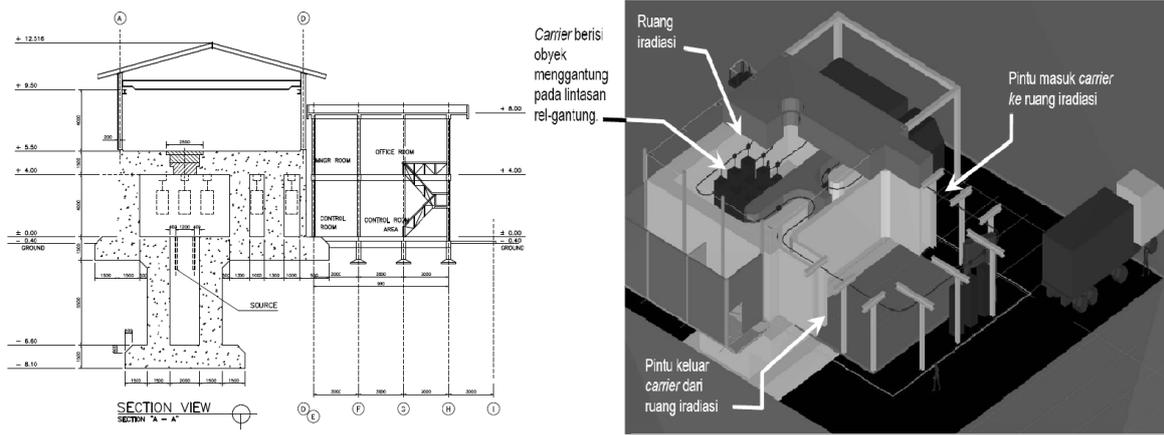
1. PENDAHULUAN

Pangan/hasil pertanian selamanya akan selalu diperlukan oleh manusia untuk kehidupannya. Data tahun 90an, menunjukkan bahwa estimasi dari FAO, sekitar 25% pangan/hasil-pertanian rusak akibat serangga, bakteri dan binatang lainnya setelah panen^[1], serta 40% buah-buahan dan sayuran di China rusak sebelum sampai ke tempat penjualan (pasar)^[2]. Data tersebut telah memacu penggunaan iradiator gamma sebagai alat pengawet pangan/hasil-pertanian, karena teknik pengawetan yang sehat dan aman pada saat itu tidak juga mampu menanggulungnya.

Iradiator gamma sebagai perangkat nuklir untuk sterilisasi bahan atau pengawet makanan makin berkembang dewasa ini. Proses iradiasi dilakukan dengan mendekatkan obyek yang akan disterilkan/diawetkan ke sumber radiasi nuklir dalam jangka waktu tertentu, yaitu dikendalikan tergantung dosis serap yang harus diterima oleh obyek yang akan disterilkan/diawetkan tersebut. Teknik bagaimana obyek tersebut dikendalikan berdekatan dengan sumber radioaktif akan menentukan jenis dari sebuah instalasi iradiator.

Iradiator IR-200K adalah iradiator *panoramic* jenis kolam dengan *lay-out* seperti pada Gambar 1, dan merupakan instalasi iradiator yang rancangan instrumentasi dan kendalinya akan dibahas dalam makalah ini. Iradiator *panoramic* adalah iradiator gamma

yang proses iradiasinya dilakukan di ruang iradiasi di udara dimana memungkinkan ruang iradiasi tersebut dimasuki oleh personel (orang)^[3]. Obyek yang akan diiradiasi pada IR-200K dimasukkan ke dalam kotak (*tote*), dimana kotak tersebut diletakkan pada *carrier* yang menggantung pada sistem rel gantung sehingga deretan *carrier* yang ada pada sistem rel tersebut dapat masuk ruang iradiasi mengitari sumber radiasi untuk proses iradiasi, dan keluar dari ruang radiasi jika waktu yang diperlukan telah tercapai. Sumber radiasi diangkat dari kolam penyimpanannya yang terletak di ruang iradiasi ketika proses radiasi berlangsung dan gerak *carrier* di ruang iradiasi dikendalikan. Sistem instrumentasi dan kendali yang mengatur proses tersebut.



(a). Gambar teknis 2D.

(b). Gambar teknis 3D.

Gambar 1. Bangunan instalasi iradiator gamma IR-200K

Dalam makalah ini, desain konsep instrumentasi dan kendali untuk instalasi iradiator gamma IR-200K dibahas. Desain konsep tersebut akan menjawab persyaratan desain yang meliputi *design constrain*, persyaratan keselamatan, fungsi, kinerja, antar muka, dan kemudahan perawatan. Arsitektur instrumentasi dan kendali dalam bentuk bagan umum diberikan sehingga desain konsep tersebut dapat dikembangkan lebih lanjut ke desain dasar dan desain rincinya.

2. DASAR TEORI

2.1 Proses Iradiasi

Proses sterilisasi dan pengawetan makanan terjadi karena obyek menyerap sejumlah dosis radiasi gamma yang tepat sehingga hama dan penyakit yang ada pada benda yang diiradiasi mati^[4]. Oleh karena itu, ketepatan dosis radiasi yang diberikan sangat menentukan keberhasilan dalam proses sterilisasi / pengawetan tersebut. Untuk sumber radiasi berbentuk titik, dosis radiasi yang diserap oleh suatu benda di dekat sumber tersebut dapat ditentukan dari laju dosis yang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut^[5]:

$$\text{Dose} = \Gamma f \sum_{i=1}^N \frac{A(i)}{r_i^2} \quad \text{Rad/jam} \quad \dots \dots \dots (1)$$

Dengan:

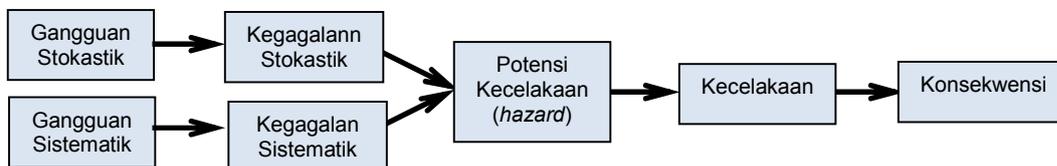
- Γ : faktor gamma.
- f : faktor konversi dari paparan ke dosis.
- A(i) : aktifitas sumber pada lokasi i dalam Curie
- r_i : jarak titik sumber ke obyek dalam meter.

Dari persamaan (1), untuk mendapatkan dosis radiasi yang tepat atas suatu benda akibat dari suatu sumber radiasi yang aktivitasnya tetap, maka pengaturan waktu dan jarak benda di sekitar sumber radioaktif harus dikendalikan. Dosis radiasi yang diserap oleh suatu benda tergantung pada jarak benda ke sumber radioaktif, waktu lamanya berada di dekat sumber radioaktif, dan nilai aktivitas sumber radioaktif. Tiga variabel tersebut bisa diubah-ubah untuk mendapatkan dosis yang diinginkan, namun demikian pada instalasi iradiator untuk proses iradiasi, sumber radiasi dan jarak dibuat tetap sehingga dosis radiasi yang diserap benda hanya tergantung pada variabel waktu.

2.2 Gangguan pada Perangkat

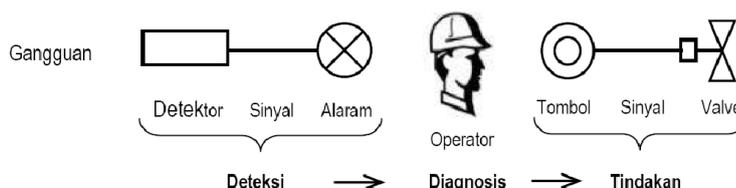
Secara umum gangguan dapat diartikan sebagai suatu kondisi atau tindakan yang terjadi dan menyebabkan sesuatu yang lain tidak berjalan sebagaimana mestinya^[6]. Secara umum gangguan perangkat dapat terjadi karena adanya ketidak-sesuaian (*error*) dan atau kesalahan. Kesalahan dapat berasal dari komponen perangkat (bisa diakibatkan terjadinya *error*) dan atau oleh kesalahan operator pengguna perangkat (*human error*). Dalam sebuah sistem perangkat yang baik, gangguan selalu dihindari atau dicegah agar tidak terjadi dan sudah diantisipasi jika terjadi. Pada sistem perangkat instrumentasi dan kendali, gangguan tersebut masuk ke sistem perangkat dikelompokkan melalui dua jalur: gangguan sistematis dan gangguan stokastik^[7] seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

Gangguan sistematis adalah gangguan akibat kesalahan desain sedangkan gangguan stokastik adalah gangguan yang muncul secara random (*random probability*). Gangguan sistematis dapat dicegah dengan desain yang baik sedangkan gangguan stokastik dapat dicegah dengan menggunakan komponen-komponen yang baik (memenuhi standard yang ditetapkan) dan prosedur kerja yang benar. Kedua gangguan tersebut akan menyebabkan kegagalan perangkat yang selanjutnya dapat berpotensi menyebabkan kecelakaan. Jika kecelakaan telah terjadi, konsekuensinya dapat berakibat jatuhnya korban atau bisa juga tidak menimbulkan korban.



Gambar 2. Diagram kemungkinan masuknya gangguan pada perangkat teknis^[7].

Keselamatan adalah kondisi yang berkaitan dengan pencegahan terjadinya kecelakaan. Definisi *zero-risk* diartikan tidak mungkin kecelakaan tersebut bisa terjadi dalam sistem, namun demikian kondisi tersebut adalah kondisi ideal yang menuntut semua komponen perangkat termasuk desain perangkat dan pengoperasiannya juga ideal. Kondisi tersebut sangat sulit untuk dicapai. Kondisi keselamatan yang realistis adalah membuat sistem perangkat mempunyai *minimum-risk*, yaitu dengan melakukan tindakan lebih atau konsentrasi yang tinggi pada posisi atau kondisi yang lemah dalam desain sistem perangkat sehingga kecelakaan dapat diminimumkan^[7].



Gambar 3. Konsep *safety barrier* dalam mencegah kecelakaan^[8].

Kegagalan dapat terjadi karena kesalahan desain, kerusakan komponen atau komponen berfungsi tidak seperti yang seharusnya, dan kesalahan operasi (*human-error*). Oleh karena itu konsep *redundancy*, *diversity*, *interlock*, *safety barrier*, dan *fail-*

safe-design menjadi keharusan untuk diterapkan dalam desain sistem perangkat yang berpotensi menimbulkan kecelakaan. Konsep *safety barrier* dapat dijelaskan seperti pada Gambar 3^[8]. *Safety-barrier* bekerja jika terjadi gangguan pada perangkat (yang diketahui dari proses deteksi) untuk kemudian operator harus bertindak sehingga sistem perangkat secara menyeluruh berada pada posisi aman.

3. TATA KERJA

Persyaratan desain untuk rancangan sistem instrumentasi dan kendali (I & K) instalasi iradiator IR-200K ditetapkan sebagai berikut. Penetapan tersebut dilakukan berdasarkan dengan mengacu literatur tentang instalasi iradiator^[9-12] dan izin operasional instalasi iradiator^[3, 13].

3.1. Design Constrain

Dalam operasionalnya, instrumentasi dan kendali ini akan berperan mengendalikan proses iradiasi dan menjaga keselamatan dengan batasan sebagai berikut. Di ruang iradiasi tidak boleh ada kabel listrik, lampu penerangan, dan peralatan deteksi & aktuasi yang berbasis kerja menggunakan listrik. Kecepatan gerak *carrier* terbatas (tidak boleh terlalu cepat) untuk menghindari efek ayunan *carrier* akibat gaya *centrifugal* dan tumbukan akibat kelembaman (*inert*) dari *carrier*. Kecepatan *carrier* juga tidak boleh terlalu lambat karena sensitivitas waktu ekspose terhadap perubahan kecepatan gerak menjadi tinggi.

Pasangan berikut ini dalam desain untuk operasional proses iradiasi menjadi batasan yang harus dikompromikan:

- Jumlah *carrier* yang bergerak bersama-sama dan daya motor listrik penarik *carrier*.
- Waktu ekspose dan kecepatan produksi iradiasi.
- Prosentase keterisian *carrier* di daerah efektif perhitungan dosis dan jumlah *carrier* minimum yang digunakan untuk proses iradiasi.

3.2. Persyaratan Keselamatan

Sumber radiasi tidak bisa diangkat ke permukaan kolam penyimpanannya jika persyaratan sumber radiasi untuk keluar dari kolam penyimpanannya tidak dipenuhi. Sumber radiasi yang telah berada di atas kolam penyimpanan harus diturunkan kembali ke kolam penyimpanannya jika persyaratan tersebut tidak dipenuhi seperti telah terjadi gangguan yang menyangkut keselamatan atau adanya perintah *emergency* dari operator yang bertugas. Tanpa energi listrik, sumber radiasi dapat diturunkan ke kolam penyimpanannya dengan cara manual. Lampu indikator untuk posisi sumber radiasi mutlak keberadaannya dan terkait dengan sistem interlock boleh tidaknya personel memasuki ruang iradiasi.

Peringatan (*warning*) harus diberikan jika terjadi kondisi tidak normal ketika operasi iradiasi dijalankan. *Warning* tersebut berupa suara (alarm) dan lampu indikator. Suara bisa dimatikan secara manual dan lampu indikator hanya akan padam jika gangguan telah dapat diatasi. Jumlah lampu indikator minimal sebanyak jumlah gangguan yang dideteksi. Jika terjadi kondisi tidak normal ketika beroperasi dan berpotensi bahaya, sistem kendali harus memindahkan status *plant* ke status aman (*fail-safe-design*). Redundansi diterapkan untuk komponen yang mempunyai resiko tinggi terhadap keselamatan.

3.3. Persyaratan Fungsi

Sistem Instrumentasi dan Kendali (I & K) berfungsi untuk pengendalian operasional dari proses iradiasi. Pengendalian proses iradiasi tersebut meliputi tiga kegiatan pokok sebagai berikut.

- (1). Perintah turun dan naik sumber radiasi. Ketika iradiator tidak dioperasikan atau posisi istirahat, sumber radiasi harus ditempatkan di kolam penyimpanannya yang terletak di bawah posisi sumber ketika sedang digunakan. Sumber radiasi tersebut dari kolam penyimpanannya harus ditarik naik ke atas ke posisi operasi ketika iradiator akan difungsikan. Naiknya sumber radiator tersebut dilakukan menggunakan motor listrik sedangkan turunnya sumber radiator memanfaatkan gaya gravitasi, sehingga sistem instrumentasi dan kendali hanya bertugas untuk memberi sinyal untuk menaikkan atau menurunkan sumber tersebut yang akan diproses lebih lanjut oleh divisi elektrik dan mekanik. Sinyal untuk menaikkan sumber hanya akan diberikan jika persyaratan keselamatan dan proses telah dipenuhi. Jika terdeteksi telah terjadi gangguan dalam operasi dan sumber radiasi berada tidak di dalam kolam penyimpanannya, maka sistem instrumentasi dan control akan memberi sinyal agar sumber radiasi tersebut diturunkan ke kolam penyimpanannya.
- (2). Gerakan Carrier. *Carrier* yang berisi obyek yang akan di iradiasi harus digerakkan dari tempat pengisian / pengosongan nya (*loading / unloading*) untuk masuk dan keluar ruang iradiasi mengikuti lintasan yang telah disiapkan. Lama *carrier* tersebut berada di ruang iradiasi disekitar sumber radiasi dapat dikendalikan sehingga memenuhi kriteria proses dan efisiensi dalam penggunaan radiasi.
- (3). Keselamatan. Keberadaan sumber radiasi di posisi operasi iradiasi memiliki beberapa persyaratan (sistem *interlock*). Jika ada persyaratan yang tidak dipenuhi, sumber radiasi akan diturunkan ke kolam penyimpanannya, atau tetap berada di kolam dan tidak bisa dinaikkan jika persyaratannya tidak dipenuhi.. Pintu masuk dan keluar *carrier* ke dan dari ruang iradiasi harus selalu tertutup oleh *carrier* ketika operasi iradiasi berlangsung sehingga tidak ada personil yang bisa masuk melalui dua pintu tersebut ketika operasi iradiasi berlangsung. Selain itu sistem deteksi personil yang masuk di kedua pintu juga dipasang sebagai redundansi. Sistem *warning, fail-safe design*, dan redundansi diterapkan.

3.4. Persyaratan Kinerja

Persyaratan kinerja instrumentasi dan kendali yang harus dipenuhi untuk instalasi iradiator gamma kapasitas 200 kCi ini adalah sebagai berikut. Sistem operasi dari iradiator ini mudah digunakan, dan ber-orientasi ke sistem otomatis. Sebelum proses iradiasi dijalankan, proses simulasi menggunakan komputer disediakan. Dengan simulator tersebut, eksekusi iradiasi atas obyek-obyek yang direncanakan dapat diprediksi keberlangsungannya.

Dalam pengendalian dosis yang diserap oleh obyek, aktivitas sumber radiasi yang digunakan dan jarak antara sumber dengan obyek dijadikan konstanta. Waktu ekspose dijadikan variabel pengendali untuk mencapai target dosis serap obyek yang diperlukan. Pengendalian waktu ekspose iradiasi dilakukan melalui pengaturan variabel kecepatan gerak obyek dan variabel delay ketika berhenti di sekitar sumber radiasi. Dua variabel tersebut diatur disesuaikan dengan kebutuhan dosis yang diperlukan.

Kecepatan gerak *carrier* maksimum 8 meter / menit, dan minimum 6 meter / menit. Variabel *delay* keberadaan *carrier* yang berisi obyek yang akan diiradiasi dapat diatur dari 0 s/d 60 menit. Maksimum *carrier* yang akan bergerak bersama-sama adalah 15 *carrier*. Obyek yang akan diiradiasi dikelompokkan dalam sistem *batch* sesuai dengan waktu iradiasi yang diperlukan. Proses iradiasi hanya bisa dilakukan untuk kelompok *batch* yang sama.

3.5. Persyaratan Antarmuka

Sistem instrumentasi dan kendali iradiator ini pengendaliannya oleh operator dilakukan melalui sebuah konsol yang ditempatkan di ruang pengendalian instalasi iradiator. Konsol terbagi menjadi dua bagian: untuk operasi (proses) dan keselamatan. Masing-masing bagian terdiri dari tampilan untuk pemantauan (*monitoring*) dan untuk tindakan.

Perintah (sinyal) untuk menggerakkan rantai penarik *carrier* menggunakan dua jenis informasi. Perintah bergerak atau berhenti, dan informasi nilai kecepatan Bergeraknya. Perintah (sinyal) untuk bergerak kepada *carrier* di tempat pemberhentian *carrier* di ruang iradiasi menggunakan sistem mekanik-pneumatik, karena tidak boleh ada kabel listrik di ruang iradiasi. Oleh karena itu diperlukan juga perangkat konversi sinyal listrik ke sistem pneumatik karena informasi proses dan keselamatan yang dimiliki oleh sistem kendali iradiator ini dalam bentuk sinyal listrik.

Ruang iradiasi tidak bisa dimasuki oleh orang ketika sumber radiasi berada diatas permukaan kolam penyimpanan. Ruang iradiasi hanya bisa dimasuki orang jika sumber radiasi berada di dalam kolam penyimpanannya dan pada kondisi sedang dalam status perawatan. Di pintu masuk dan keluar ruang iradiasi dipasang sistem deteksi untuk orang yang masuk melalui dua pintu tersebut. Sistem deteksi akan mengaktifkan alarm dan menurunkan sumber radiasi ke kolam penyimpanannya jika terdeteksi ada orang yang masuk melalui pintu tersebut.

Obyek yang akan di iradiasi dikemas sehingga mudah dan cepat dalam proses *loading* dan *unloading* nya ke dan dari *carrier*, karena alokasi waktu yang tersedia untuk proses *loading* dan *unloading* cukup singkat untuk obyek yang memerlukan iradiasi singkat dan juga untuk keselamatan selama proses berlangsung. *Carrier* yang sedang dalam proses *loading/unloading* obyek dapat dilepas dari putaran rantai penarik *carrier* untuk memudahkan proses *loading/unloading* sehingga tidak mengganggu proses iradiasi yang sedang berjalan. *Carrier* berisi *dummy* diperlukan di awal dan di akhir operasi iradiasi untuk peningkatan keselamatan operasi.

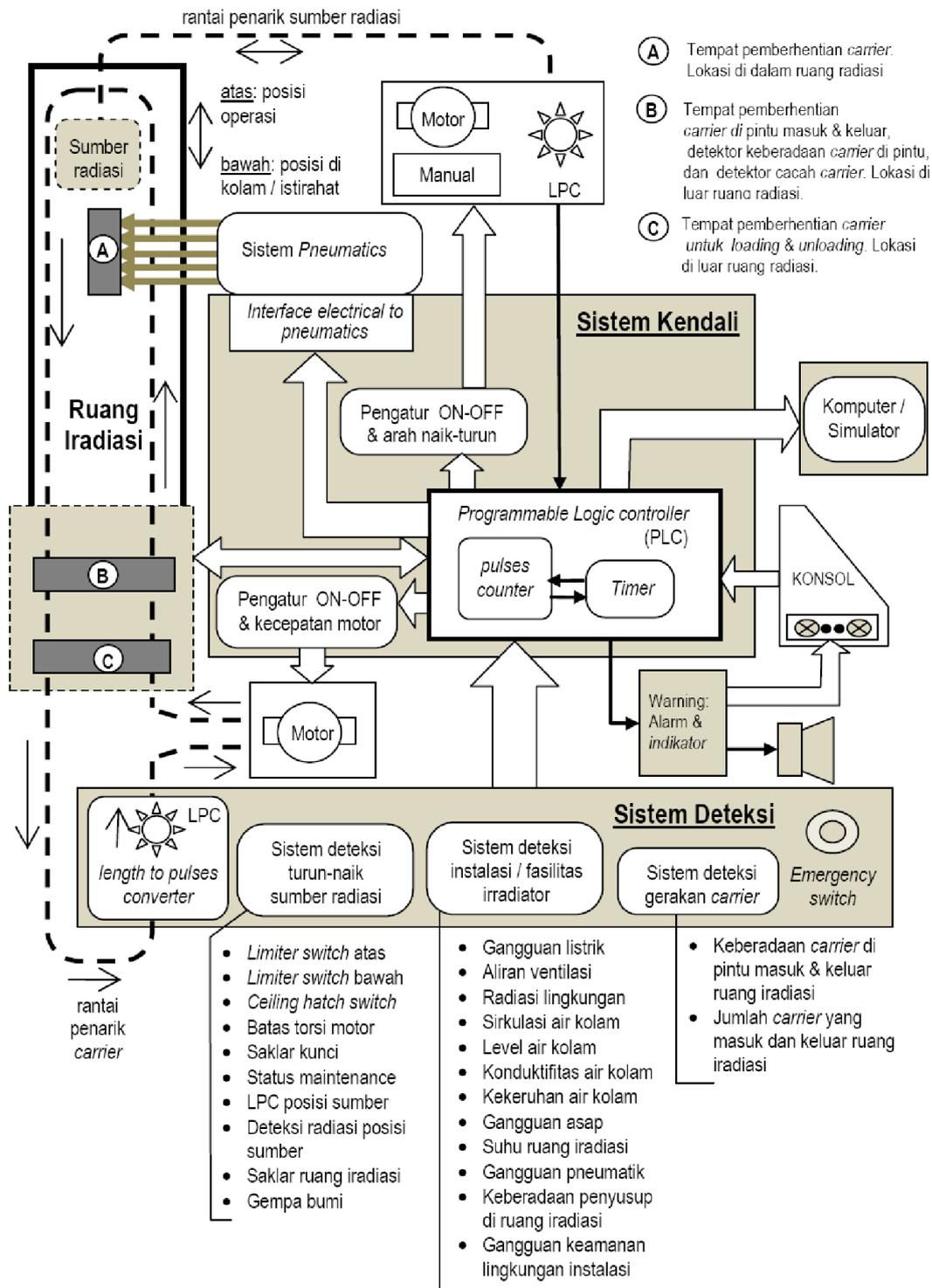
3.6. Persyaratan Kemudahan Perawatan

Implementasi perangkat instrumentasi dan kendali ini dibuat dalam bentuk modul-modul yang terintegrasi dan memiliki terminal *test-point* yang memadai sehingga mudah untuk proses pelacakan (*troubleshooting*) jika terjadi gangguan pada sistem instrumentasi dan kendali nya. Sistem kendali menyediakan opsi perawatan disamping opsi operasi iradiasi. Sistem instrumentasi memiliki *record* terhadap suatu komponen yang dapat digunakan sebagai acuan dalam program perawatan berkala yang dijalankan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Diagram sistem instrumentasi dan kendali iradiator IR-200K direncanakan seperti pada Gambar 4. Konsol digunakan untuk alat komunikasi operator iradiator dengan instalasi iradiator. Operator memberi perintah melalui konsol dan konsol memberi informasi atas instalasi iradiator yang sedang berjalan. Indikator peringatan (*warning*) terdapat di konsol selain dilokasi lain (lampu). Perintah operator berupa:

- Menentukan status instalasi iradiator: Istirahat, Operasi, atau Perawatan.
- Mengaktifkan sistem keselamatan untuk operasi.
- Menaikkan sumber radiasi dari tempat penyimpanannya.
- Menurunkan sumber radiasi ke tempat penyimpanannya.
- Mengaktifkan sistem ventilasi ruang iradiasi.
- Menentukan kecepatan gerak *carrier* di ruang iradiasi.
- Menentukan nilai *delay* yang diperlukan pada proses iradiasi.
- Menentukan status posisi *carrier* siap untuk sumber radiasi dinaikkan dari kolam penyimpanan.



Gambar 4. Diagram sistem instrumentasi dan kendali irradiator IR-200K.

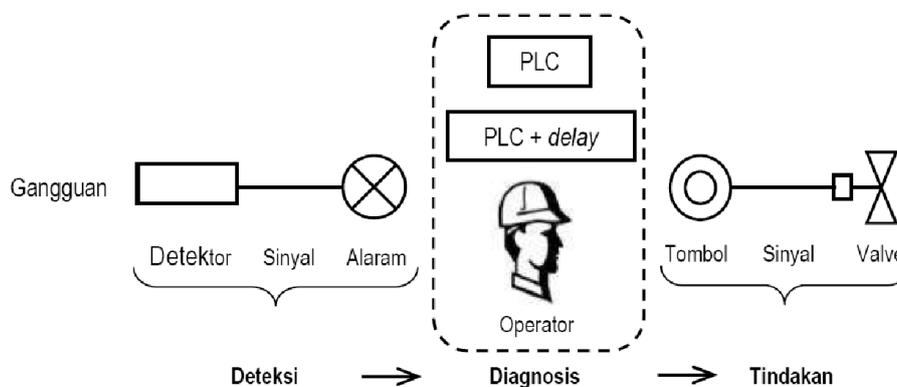
Komputer digunakan untuk alat simulasi sebelum proses iradiasi dijalankan (disamping juga digunakan untuk beberapa perintah). Dengan simulasi tersebut, operator bisa memprediksi hal-hal berkenaan dengan proses iradiasi yang akan dijalankan. Jika terjadi gangguan, sistem *warning* akan aktif yaitu suara alarm dan lampu indikator menyala. Suara alarm dapat dimatikan secara manual, tetapi lampu indikator hanya akan padam jika gangguan penyebab *warning* dapat diatasi

Sistem deteksi digunakan untuk memantau status proses iradiasi dan keselamatan di lingkungan instalasi iradiator. Sistem deteksi mendapat masukan dari perangkat deteksi dan dari operator. Masukan bersifat *binary*, yaitu ON atau OFF; kontak tersambung atau kontak terputus. Sistem kendali menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC) yang digunakan untuk implementasi fungsi logik dari proses iradiasi maupun keselamatan.

Motor penarik sumber radiasi dapat berputar dua arah dengan kecepatan tetap, untuk menaikkan dan menurunkan sumber radiasi dari kolam penyimpanan ke tempat operasi. Sistem *interface* motor dengan rantai penarik harus bisa diinterupsi (dilepas) sehingga proses penurunan sumber radiasi bisa dilakukan secara manual. Kondisi ini digunakan untuk kondisi *emergency* yaitu jika terjadi gangguan listrik dari PLN padam. Detail rancangan sistem interlock pergerakan naik-turun sumber radiasi dijelaskan di [14].

Menggunakan LPC (*Length to Pulse Converter*) pada rantai penarik sumber, posisi sumber dapat di monitor keberadaannya relatif terhadap kolam penyimpanan dan posisi operasinya. Gerakan rantai penarik *carrier* diubah menjadi deretan pulsa oleh LPC, dan ditetapkan untuk gerakan rantai sepanjang 1 meter akan dihasilkan 50 pulsa. Pulsa-pulsa tersebut masuk ke PLC untuk di hitung (cacah) dan digunakan sebagai variabel monitoring, pengendalian dan lainnya.

Carrier yang melewati tempat pemberhentian-*carrier* harus berhenti, dan gerakan *carrier* selanjutnya (waktu Bergeraknya) ditentukan oleh sistem kendali. Pengendalian gerakan dilakukan melalui sistem pneumatik bagi *carrier* yang berada di ruang iradiasi (A), dan dapat menggunakan sinyal listrik bagi yang berda di luar ruang iradiasi (B) dan (C). Untuk pemberhentian *carrier* dilokasi (C), memiliki opsi manual oleh operator, karena pada posisi tersebut proses *loading* dan *unloading* obyek dilakukan, lihat Gambar 4. Detail rancangan gerakan *carrier* tersebut dijelaskan di [15]. Dengan menghitung jumlah *carrier* yang masuk dan yang keluar setiap saat dan juga memanfaatkan data dari LPC maka dapat dibuat sistem deteksi jika terjadi gangguan gerak *carrier* (macet) di ruang iradiasi.



Gambar 5. Konsep *safety barrier* pada iradiator IR-200K.

Konsep *safety barrier* digunakan dalam rancangan ini dengan membuat tiga jenis untuk pelaksana diagnosisnya seperti pada Gambar 5. Diagnosis oleh PLC digunakan jika jenis gangguan yang terjadi menyangkut penuh pada keselamatan. Kecepatan diagnosis dan eksekusi diutamakan sehingga PLC mampu memenuhi persyaratan tersebut (otomatis). Diagnosis oleh PLC + *delay* digunakan jika jenis gangguan menyangkut keselamatan dan juga proses iradiasi. *Delay* diberikan untuk memberi kesempatan kepada operator dan petugas instalasi yang sedang bekerja mengatasi gangguan yang terjadi. Jika gangguan dapat diatasi maka instalasi dapat kembali bekerja normal, tetapi jika dalam tenggang waktu *delay* tersebut gangguan tidak bisa diatasi maka tindakan oleh PLC dilaksanakan untuk menghenikan operasi. Untuk jenis gangguan yang hanya berpengaruh pada proses iradiasi, maka diserahkan ke operator untuk bertindak apakah

operasi harus dihentikan atau diteruskan karena gangguan dapat diatasi. Pengelompokan diagnosis dan eksekusi tersebut dalam rangka mempertimbangkan juga agar proses iradiasi yang sedang berlangsung tidak terputus karena gangguan. Tidak semua gangguan harus diartikan untuk menghentikan proses iradiasi yang sedang berlangsung. Detail pengelompokan ini dapat dilihat pada makalah Rancangan Interlock Pergerakan Naik-Turun Sumber Radiasi pada Instalasi Iradiator Gamma IR-200K.

5. KESIMPULAN

Desain konsep sistem instrumentasi dan kendali untuk instalasi iradiator gamma IR-200K telah dibahas. Desain konsep ini dibuat mengacu pada persyaratan operasi instalasi iradiator gamma dan literatur tentang instrumentasi & kendali iradiator gamma yang disesuaikan dengan desain bangunan serta proses iradiasinya untuk IR-200K. *Programmable Logic Controller* (PLC) menjadi pusat pengendali yang mendapat masukan dari sistem deteksi, dan *Length to Pulse Converter* (LPC) dijadikan masukan untuk memonitor posisi sumber radiasi serta gerakan *carrier* di ruang iradiasi. Konsep *safety barrier* dengan tiga kategori karena tidak semua gangguan ke instalasi akan berdampak pada keselamatan sehingga proses iradiasi yang sedang berlangsung tidak harus selalu dihentikan akibat terjadinya gangguan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ICGFI., 1999, *Fact about Food Irradiation.*, Vienna, Austria.
www.iaea.org/programmes/nafa/d5/public/foodirradiation.pdf. di-access tanggal 19 Februari 2009.
- [2]. THAMRIN MT dan AKHADI M, Desember 1997, *Dosimetri Gamma Dosis Tinggi dalam kegiatan Industri.*, Buletin ALARA, Vol. 1, No. 2, P. 27-33.
- [3]. Anonim, *October 20, 2008, Lincenses for Large Irradiator*, Official Gazette, Vol.104, No. 42., Philipine Nuclear Research Institute, Quenzon City.
- [4]. Bakri A , Heather N, Hendrichs J and Ferris I, 2005, *Fifty Years of Radiation Biology in Entomology: Lesson Learned from IDIDAS. Annals of the Entomology Society of America*, 98(1): 1-12 p, NewYork.
- [5]. Dinallo, A M, et.al., 1988, *Dosimetry in Radiography*, Vol.1., Proceedings of an International Symposium on Dosimetry in Radioterapy., IAEA., Vienna.
- [6]. Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) online. <http://kbbi.web.id/ganggu>, di-acces tanggal 13 Juni 2014.
- [7]. Toola A, 1993, *The Safety of Process Automation*, Automatica, Vol. 29, No. 2, London.
- [8]. Duijm NJ, Makert F., 2009, *Safety-barrier diagram as a tool for modelling safety of hydrogen applications.*, International Journal of Hydrogen Energy Vol. 34., Elsevier, London.
- [9]. Anonim, November 1993, *Operation and Maintenance of Land-Based Stationary Gamma Irradiators*, Government of India, Bombay.
- [10]. Anonim, 2010, *IAEA Safety Standards, Specific Safety Guide No.SSG-8, Radiation Safety of Gamma, Electron and X-Ray Irradiation Facilities*, IAEA, Vienna.
- [11]. Solanki RB, Prasad M, Sonawane AU, dan Gupta SK, 2012, *Probabilistic Safety Assesment for Food Irradiation Facility*, Annals of Nuclear Energy Vol. 43, Elsevier, London.
- [12]. Etienne JC, Buyle R, 1984, *Electromechanical Aspects of Irradiator Design*, *Journal of Food Engineering*, Elsevier, London.
- [13]. Ridwan M, 15 Juni 1999, *Izin Konstruksi dan Operasi Iradiator No: 11/Ka-BAPETEN/VI-99*, BAPETEN, Jakarta.

- [14]. Suntoro A, 2014, *Rancangan Interlock Pergerakan Naik-Turun Sumber Radiasi Pada Instalasi Irradiator Gamma IR-200K.*, Proseding Seminar Nasional Kesehatan dan Keselamatan Lingkungan, Jakarta.
- [15]. Suntoro A, Juni 2013, *Rancangan Pengendalian Gerak Carrier pada Irradiator Gamma IR-200K*, Jurnal Perangkat Nuklir, Vol. 07, No.1.