

PENENTUAN JARAK MINIMUM ANTAR CARRIER YANG BERURUTAN DI LINTASAN GERAK PADA IRADIATOR GAMMA IR-200 K

Achmad Suntoro
Pusat Rekayasa Fasilitas Nuklir (PRFN) – BATAN
E-mail : suntoro@batan.go.id

ABSTRAK

PENENTUAN JARAK MINIMUM ANTAR CARRIER YANG BERURUTAN DI LINTASAN GERAK PADA IRADIATOR GAMMA IR-200 K. Desain untuk menentukan jarak minimum antar carrier pada lintasan instalasi iradiator gamma IR-200K dilakukan. Kesetimbangan antara gaya sentrifugal dari carrier pada lintasan melingkar dan gaya beratnya serta dimensi dari carrier digunakan sebagai parameter dalam menentukan jarak minimum tersebut. Ditetapkan jarak minimum antar carrier dalam desain 1.2 meter. Jarak ini 11.5% lebih besar dari jarak minimum antar carrier menurut perhitungan teoritis yaitu 1.076 meter. Toleransi kesalahan dalam konstruksi/instalasi lintasan serta hal lain tak terduga dalam operasi menjadi pertimbangan untuk memperbesar jarak tersebut dari nilai teoritisnya. Kondisi ini tidak akan mempengaruhi throughput dan efisiensi penggunaan radiasi karena pada segmen lintasan yang lurus tidak perlu mengikuti jarak minimum antar carrier ini, karena segmen lintasan carrier disekitar sumber radiasi lurus.

Katakunci: jarak antar carrier, iradiator gamma, kesetimbangan gaya, jarak minimum.

ABSTRACT

MINIMUM DISTANCE DETERMINATION BETWEEN CONSECUTIVE CARRIERS IN THE GAMMA IRRADIATOR IR-200 K TRAJECTORY. A design to determine the minimum distance between the consecutive carriers at the trajectory of gamma irradiators IR-200K is implemented. Equilibrium between centrifugal force of a moving carrier in circular trajectory and its gravity force as well as carrier dimensions are used as parameters in determining such a minimum distance. The minimum distance between the consecutive carriers in the design is defined 1.2 meters. The distance is 11.5% greater than the minimum distance theoretically calculated, namely 1,076 meters. Errors tolerance in construction/installation of the trajectory and other unexpected things during irradiator's operation are part of the consideration to enlarge the minimum distance from its theoretical value. The distance between the consecutive carriers will not affect throughput and efficiency of using radiation due to the straight trajectory segments do not need to follow such the minimum distance between the carriers, as the trajectory segments around the irradiation sources are straight.

Keyword: distance between carriers, gamma irradiator, equilibrium forces, minimum distance.

1. PENDAHULUAN

Iradiator gamma IR-200K rancangan PRFN dirancang menggunakan sumber radio aktif Cobalt-60 dengan aktifitas 200 kilo-currie adalah jenis *panoramic irradiator* yang berproses dengan cara menarik masuk *carrier* yang berisi target yang akan diiradiasi ke ruang iradiasi. Di ruang iradiasi, *carrier* mengitari sumber radiasi dan selanjutnya keluar dari ruang tersebut. *Carrier* tersebut masuk dan keluar ruang iradiasi mengikuti sistem lintasan yang menggunakan rel gantung. *Carrier* menggantung pada rel dan ditarik oleh rantai penarik *carrier* yang selalu bergerak. Pengendalian gerak *carrier* dilakukan menggunakan mekanisme lokal yang dapat dikendalikan oleh sistem sentral pengendali untuk menghentikan dan menggerakkan *carrier* dengan persyaratan tertentu^[1].

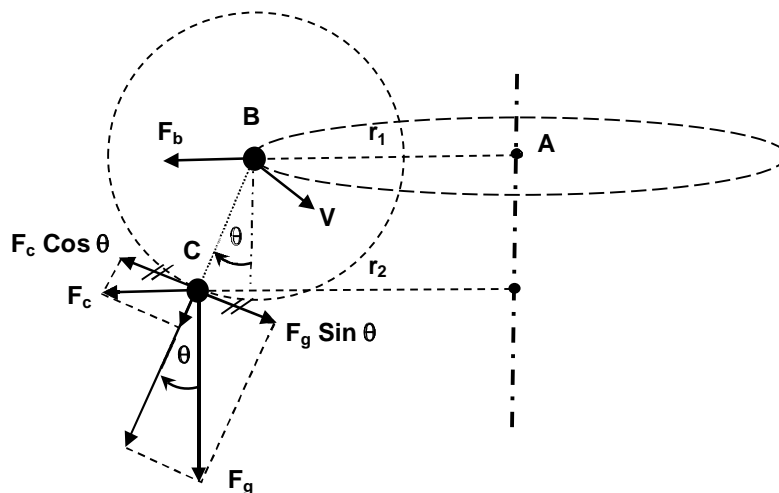
Lintasan gerak *carrier* tersebut tidak selalu lurus tetapi akan ada yang melingkar agar target di dalam *carrier* selama di ruang iradiasi mendapatkan dosis radiasi yang mendekati homogen (rata). Deretan *carrier* yang bergerak dalam lintasan yang melingkar

memerlukan pengaturan jarak antar *carrier*nya. Jarak antar *carrier* yang terlalu dekat akan berakibat terjadi gesekan atau tolak-menolak antar *carrier* yang dapat berpotensi merusak sistem instalasi gerak *carrier* tersebut. Oleh karena itu, jarak antar *carrier* yang tepat sehingga tidak mengganggu proses iradiasi target dalam *carrier* perlu ditentukan. Dalam makalah ini, jarak antar *carrier* tersebut ditetapkan berdasarkan perhitungan pendekatan secara teoritis dengan melihat kemungkinan yang akan terjadi jika deretan *carrier* bergerak dalam lintasan yang tidak lurus.

2. METODOLOGI

2.1. Gerak Melingkar

Sebuah benda yang bergerak dengan lintasan berbentuk lingkaran, maka pada benda tersebut akan mendapatkan gaya dengan arah menjauhi titik pusat lengkung lintasan yang timbul dari gerak melingkar tersebut, dan gaya ini disebut dengan gaya sentrifugal^[2].



Gambar 1. Gerak melingkar beraturan

Besar gaya sentrifugal yang diterima oleh titik B pada Gambar 1 ditulis dengan persamaan berikut:

$$F_b = m \frac{V_b^2}{r_1} = m \omega^2 r_1 \dots\dots\dots(1)$$

- dengan F_b : gaya sentrifugal pada benda B
- m : masa benda B
- V_b : kecepatan linier benda B
- ω : kecepatan sudut benda B
- r_1 : jari-jari lintasan benda B

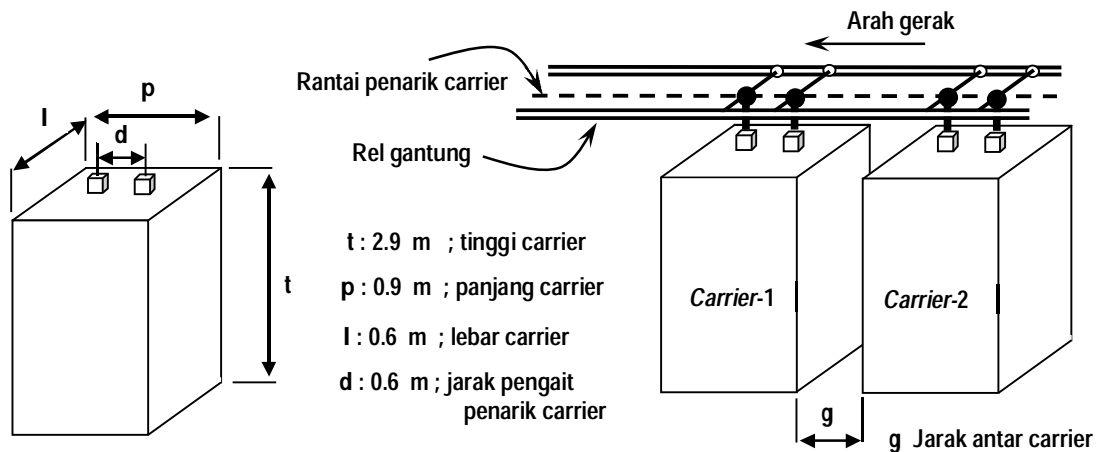
Andaikan diadakan benda C memiliki masa yang sama dengan benda B, dan digantung seperti pada Gambar 1 menggunakan seutas tali yang masanya diabaikan, maka persamaan (1) berlaku juga pada benda C, namun menggunakan parameter persamaan milik benda C.

Dari Gambar 1, ketika benda B berhenti ($V_b = 0$), maka $r_1 = r_2$, karena $F_c = F_b = 0$, dan ketika $V_b \neq 0$ pada awalnya $F_b = F_c$, namun karena kondisi benda C tergantung bebas dan benda B terikat pada lintasan, maka gaya F_c akan mengakibatkan bertambahnya nilai

r_2 sehingga nilai $F_c \neq F_b$. Kondisi tersebut berlangsung, yaitu perubahan nilai r_2 dan F_c secara dinamis, sehingga kesetimbangan tercapai. Kondisi setimbang terjadi ketika $F_c \cos \theta = F_g \sin \theta$, dimana F_g adalah gaya berat dari benda C, yang nilainya adalah masa-benda x gravitasi ($F_g = mg$).

2.2. Gerak *Carrier* dalam Lintasan

Benda yang bergerak dalam lintasan akan memiliki bentuk gerak sama dengan bentuk lintasan tersebut. Untuk benda yang berderetan dalam lintasan, maka jarak antar benda harus ditentukan agar tidak terjadi gesekan atau gaya tolak menolak antar benda ketika melintas pada lintasan yang tidak lurus. Pada instalasi IR-200K *carrier* berbentuk balok seperti pada Gambar 2 bergerak mengikuti lintasannya. Lintasan berbentuk rel gantung dan *carrier* tersebut ditarik oleh rantai penarik. Rantai selalu bergerak dan sistem mekanik pada *carrier* yang akan mengendalikan apakah *carrier* harus berhenti (lepas dari rantai penarik) atau harus bergerak (terkunci pada rantai penarik). Pengendalian gerak *carrier* tersebut merupakan bagian dari sistem pengendali iradiator IR-200K dalam rangka mendapatkan dosis serap yang diinginkan target yang ada di dalam *carrier* tersebut^[1].

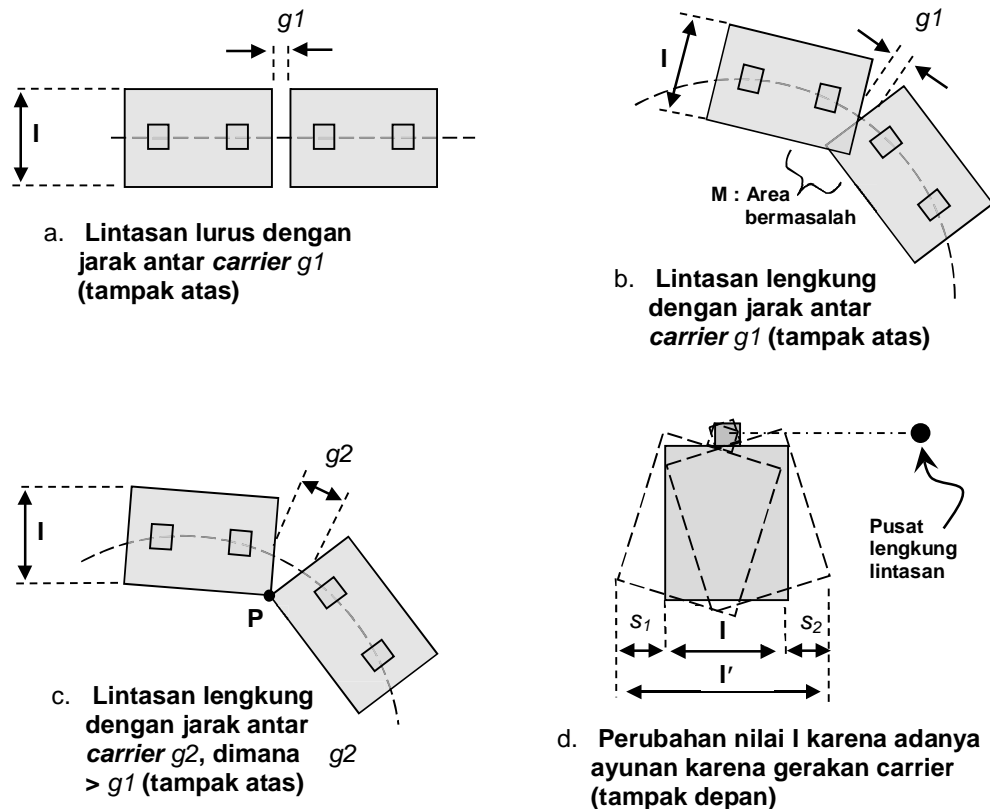


Gambar 2. Bentuk, ukuran, dan jarak antar *carrier* di lintasan

Fenomena gerakan *carrier* dalam lintasan yang berbentuk lurus ataupun melingkar diperlihatkan pada Gambar 3. Untuk bentuk lintasan garis lurus (Gambar 3.a), jarak antar *carrier* yang berurutan dalam lintasan (g_1), tidak menjadi masalah. Nilai g_1 tidak akan mengganggu sistem gerak *carrier* dalam lintasan lurus. Untuk lintasan lengkung (melingkar) maka jarak g_1 akan mengganggu gerak *carrier*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.b. Pada area M akan berpotensi menyebabkan gangguan gerak *carrier*. Pada daerah tersebut akan terjadi gaya tolak menolak sehingga mencapai kondisi keseimbangannya. Gaya tolak menolak ini bisa berpotensi merusak fisik *carrier* itu sendiri atau merusak sistem pengait penarik *carrier*. Dalam desain, kondisi ini harus dihindari dengan merubah nilai g_1 menjadi g_2 , dimana $g_2 > g_1$ seperti pada Gambar 3.c. Dengan jarak g_2 , maka area bermasalah M tidak akan pernah terbentuk. Nilai g_2 adalah jarak minimum antar *carrier* berderetan dalam kondisi statis (tidak ada ayunan ke samping) agar daerah bermasalah M tidak terbentuk.

Nilai g_2 dapat dihitung menggunakan ilmu-ukur bidang (planimetri), karena terlihat bahwa tinggi balok t tidak mempengaruhi posisi titik P untuk kondisi statis seperti ditunjukkan pada Gambar 3.c. Untuk kondisi dinamis (*carrier* bergerak), nilai g_2 akan dipengaruhi oleh tinggi *carrier*, karena posisi titik ujung *carrier* yang membentuk titik P akan berubah tergantung pada tinggi *carrier* t dan simpangan *carrier* (s) dari kondisi statisnya. Perubahan ujung *carrier* menyebabkan perubahan nilai l menjadi l' seperti

ditunjukkan pada Gambar 3.d akibat adanya gaya sentrifugal (karena *carrier* bergerak pada lintasan lengkung) dan hilangnya gaya sentrifugal tersebut akibat perubahan lintasan menjadi lurus kembali atau tiba-tiba *carrier* harus berhenti. Oleh karena itu, jarak antar *carrier* harus ditentukan dengan memperhitungkan juga pengaruh gerak *carrier* dalam lintasan yang berpotensi memiliki simpangan s .



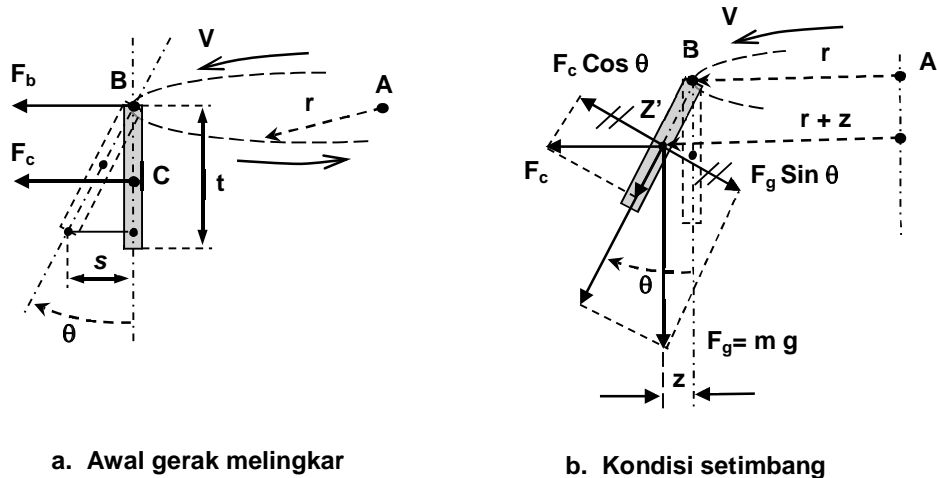
Gambar 3. Fenomena gerakan *carrier* di lintasan lurus dan lengkung

2.3. Perhitungan Jarak Antar *Carrier*

2.3.1 Simpangan *Carrier*

Lebar *carrier* l untuk perhitungan jarak antar *carrier* adalah l' , seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.d, dimana $l' = l + s_1 + s_2$. Nilai simpangan ditentukan dengan pendekatan $s_1 = s_2$. Sesungguhnya nilai $s_1 \neq s_2$ tetapi $s_1 \sim s_2$ karena s_1 berasal dari adanya gaya sentrifugal, dan s_2 terjadi karena hilangnya gaya sentrifugal secara mendadak (karena perubahan lintasan menjadi lurus atau *carrier* berhenti mendadak) sehingga simpangan s_1 menimbulkan simpangan s_2 . Dari kondisi tersebut maka $s_1 > s_2$. Perbedaan tersebut sangat kecil dan untuk tujuan penentuan jarak antar *carrier* ditentukan pendekatan bahwa $s_1 = s_2$.

Mengacu pada Gambar 1 dan disesuaikan untuk benda B berupa *carrier*, sehingga titik berat (*center of gravity*) dari *carrier* menjadi titik C seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.a. Pada awal gerak melingkar, gaya sentrifugal $F_c = F_b$ karena masih mempunyai jari-jari lintasan yang sama. Gaya F_c ini yang mengakibatkan *carrier* menyimpang dari posisi statisnya. Gerakan penyimpangan tersebut akan berakhir pada posisi kesetimbangan yaitu ketika $F_c \cos \theta = F_b \sin \theta$ seperti pada Gambar 4.b. Pada kondisi ini $F_c > F_b$ karena $(r + z) > r$ dan kecepatan sudutnya ω tetap.



$$s = 2z ; \omega = \frac{V}{r}$$

$$F_c \cos \theta = F_g \sin \theta$$

$$\frac{\sin \theta}{\cos \theta} = \frac{F_c}{F_g}$$

$$\text{tg } \theta = \frac{m\omega^2(r+z)}{mg} = \frac{\omega^2(r+z)}{g}$$

$$\frac{s}{\sqrt{t^2 - s^2}} = \frac{\omega^2(r+0.5s)}{g}$$

$$gs = \omega^2(r+0.5s)\sqrt{t^2 - s^2}$$

$$\omega^4(r+0.5s)^2(t^2 - s^2) - g^2s^2 = 0$$

$$\left(\frac{V}{r}\right)^4(r+0.5s)^2(t^2 - s^2) - g^2s^2 = 0 \dots (2)$$

Dengan gaya :
 g : gravitasi bumi (m/dt^2)
 r : jari-jari lintasan melingkar (m)
 t : tinggi carrier (m)
 s : simpangan (m)
 V : kecepatan gerak carrier (m/dt)

c. Penurunan persamaan simpangan carrier akibat lintasan melingkar

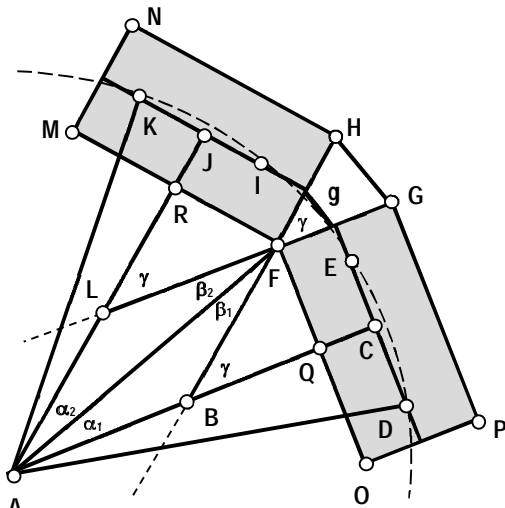
Gambar 4. Menentukan persamaan simpangan *carrier* s pada lintasan melingkar

Persamaan (2) adalah persamaan simpangan (s) akibat Bergeraknya *carrier* dalam lintasan melingkar. Persamaan tersebut merupakan persamaan polynom dengan orde 4. Dengan menggunakan teknik coba-coba (*trial & error*) nilai simpangan s yang memenuhi persamaan tersebut dan sesuai dengan kondisi gerakan *carrier* pada instalasi radiator IR-200K dapat ditentukan.

2.3.2 Jarak Minimum Antar *Carrier*

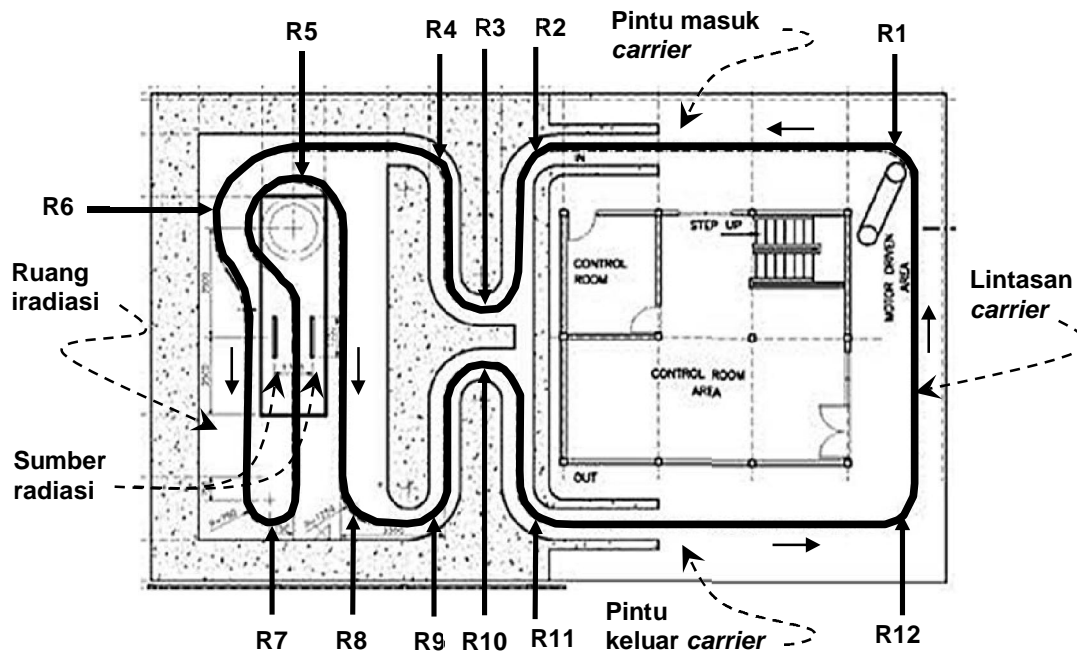
Lebar *carrier* (l) untuk perhitungan jarak minimum antar *carrier* adalah l' , yang nilainya adalah $l' = l + 2s$, dimana s adalah simpangan *carrier* akibat gerak melingkar yang dihitung menggunakan persamaan (2). Jarak minimum antar *carrier* (g) dihitung secara statis menggunakan planimetri menggunakan lebar *carrier* l' , yang berarti telah mengikutsertakan pengaruh gerak *carrier* dalam lintasan melingkar. Tabel 1 adalah penurunan rumus untuk menentukan jarak minimum antar *carrier*, menggunakan Gambar 3.c yang disesuaikan ke Gambar 5. Persamaan (3) adalah persamaan untuk jarak minimum antar *carrier* yang merupakan hasil penurunan rumus berdasar pada Gambar 5 dengan variabel jari-jari lintasan yang melingkar dan dimensi dari *carrier*.

Tabel 1. Penurunan rumus jarak minimum antar *carrier* g

<p>OFGP : <i>carrier</i>-1 MNHF : <i>carrier</i>-2 FO : Panjang <i>carrier</i>, p. FG : Lebar <i>carrier</i> + simpangan, l'. KI : Jarak pengkait ke rantai penggerak, (d). HG : Jarak minimum antar <i>carrier</i>, g. AK : Jari-jari lengkung lintasan <i>carrier</i>, (r). A : Titik pusat lengkung lintasan <i>carrier</i> KJ : Setengah dari KI, (KJ = 1/2 d) γ : Sudut maksimum antar <i>carrier</i> akibat lintasan lengkung.</p>	 <p>Gambar 5. Jarak minimum antar <i>carrier</i></p>
<p>AJ//BH $\therefore \angle JLF = \gamma$, sudut sehadap. $\therefore \alpha_2 = \beta_1$, sudut berseberangan</p> <p>AC//LG $\therefore \angle FBC = \gamma$, sudut sehadap. $\therefore \alpha_1 = \beta_2$, sudut berseberangan</p> <p><u>Lihat $\triangle AFB$</u>: $\alpha_1 + \beta_1 = \gamma$, sudut luar \triangle. <u>Lihat $\triangle ALF$</u>: $\alpha_2 + \beta_2 = \gamma$, sudut luar \triangle.</p> $\begin{array}{r} \alpha_1 + \beta_1 = \gamma \\ \alpha_2 + \beta_2 = \gamma \\ \hline \alpha_1 + \alpha_2 + \beta_1 + \beta_2 = 2\gamma \\ \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_2 + \alpha_1 = 2\gamma \\ 2(\alpha_1 + \alpha_2) = 2\gamma \\ \alpha_1 + \alpha_2 = \gamma \end{array}$ <p>Lihat $\triangle AFQ$ dan $\triangle ARF$: $\sin(\alpha_1) = FQ/AF$ $\sin(\alpha_2) = FR/AF$ $FQ = FR = \frac{1}{2} I$ maka $\sin(\alpha_1) = \sin(\alpha_2)$, dan $\alpha_1 = \alpha_2$.</p> <p>$\therefore \gamma = 2\alpha_1$.</p>	<p><u>Lihat $\triangle ACD$</u>:</p> $AC = \sqrt{(AD)^2 - (CD)^2}$ $AC = \sqrt{r^2 - (0.5d)^2}$ $AQ = AC - 0.5l'$ $AQ = \sqrt{r^2 - (0.5d)^2} - 0.5l'$ <p><u>Lihat $\triangle AFQ$</u>:</p> $\alpha_1 = \text{tg}^{-1}(FQ/AQ)$ $\alpha_1 = \text{tg}^{-1}\left(\frac{0.5p}{\sqrt{r^2 - (0.5d)^2} - 0.5l'}\right)$ $\gamma = 2\alpha_1$ $\gamma = 2 \text{tg}^{-1}\left(\frac{0.5p}{\sqrt{r^2 - (0.5d)^2} - 0.5l'}\right)$
$HG = \sqrt{(FH)^2 + (FG)^2 - 2 \cdot FH \cdot FG \cdot \cos(\gamma)} = g$ $g = \sqrt{l'^2 + l'^2 - 2 \cdot l' \cdot l' \cdot \cos(2\alpha_1)}$ $g = l' \sqrt{2(1 - \cos(2 \text{tg}^{-1}(\frac{0.5p}{\sqrt{r^2 - (0.5d)^2} - 0.5l'})))} \dots\dots\dots(3)$	

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

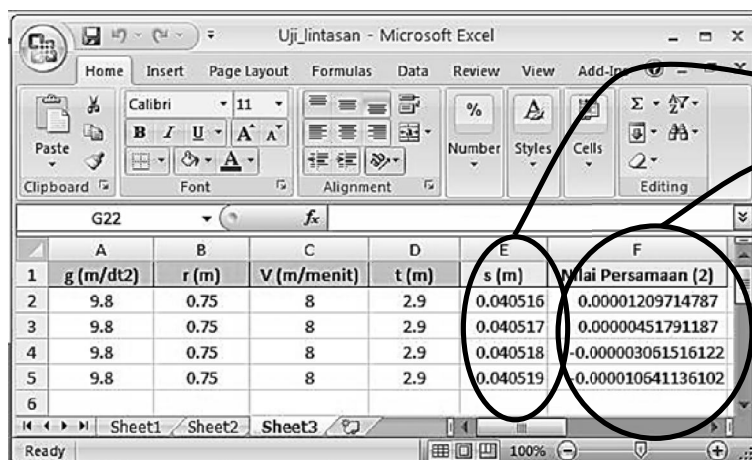
Gambar 6 adalah bentuk lintasan *carrier* pada instalasi iradiator IR-200K yang terdiri dari 12 lengkungan dengan jari-jari lengkungan (R1 s/d R12) yang tidak selalu sama nilainya. Tabel 2 adalah ukuran jari-jari masing-masing lintasan lengkung tersebut. Penentuan jarak minimum antar *carrier* ditentukan oleh jari-jari terkecil, yaitu R7. Simpangan *carrier* s terjauh akan terjadi pada jari-jari terkecil sesuai dengan persamaan (1), karena di semua lintasan, kecepatan *carrier* adalah sama.



Tabel 2. Jari-jari lengkung lintasan *carrier* pada Gambar 6 (dalam meter)

R1	1.25	R4	1.25	R7	0.75	R10	1.0
R2	1.25	R5	1.5	R8	1.25	R11	1.25
R3	1.0	R6	2.5	R9	1.25	R12	1.25

Gambar 6. Bentuk lintasan *carrier* dengan 12 lengkungan pada irradiator IR-200 K



Nilai simpangan s coba-coba (*trial & error*) yang diberikan.

Nilai persamaan (2) untuk simpangan s yang diberikan. Secara teoritis nilai persamaan (2) = 0 untuk s yang memenuhi.

Gambar 7. Menentukan nilai simpangan s dari persamaan (2) dengan teknik coba-coba (*trial & error*) dengan bantuan program Excel

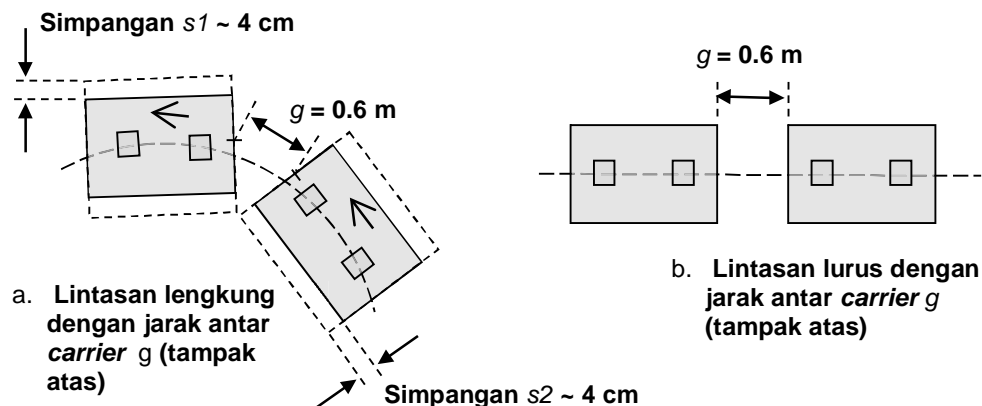
Untuk jari-jari terkecil pada Tabel 2 yaitu $r = 0.75$ m, kecepatan maksimum gerak carrier $V = 8$ m/menit, tinggi carrier $t = 2.9$ m dan menggunakan nilai grafitasi 9.8 m/dt², maka menggunakan teknik coba-coba (*trial & error*) pada persamaan (2) dibantu program Excel, salah satu akar persamaan tersebut terletak pada $0.040517 < s < 0.040518$ seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7. Kondisi teoritis, nilai persamaan (2) harus 0 untuk nilai s yang secara teoritis memenuhi persamaan (2). Untuk nilai pendekatan simpangan dalam instalasi iradiator IR-200K ini, diambil nilai $s \sim 4$ cm.

Jarak antar carrier minimum dihitung menggunakan persamaan (3) dengan nilai lebar carrier $l' = l + 2s = 0,6 + 2 \times 0,04 = 0,68$ meter adalah sebagai berikut.

$$g = 0,68 \sqrt{2 \left(1 - \cos \left(2 \operatorname{tg}^{-1} \left(\frac{0,5 \times 0,9}{\sqrt{(0,75)^2 - (0,5 \times 0,6)^2} - 0,5 \times 0,68} \right) \right) \right)}$$

$$g = 1,076 \text{ meter}$$

Dalam desain, ditetapkan jarak minimum antar carrier g adalah 1.2 meter. Angka ini lebih besar dari nilai minimum menurut perhitungan teoritis menggunakan persamaan (3) di atas (1.076 meter), angka ini untuk antisipasi dan toleransi ayunan carrier yang tidak terduga pada lintasan. Angka ini juga jauh lebih besar dari nilai yang pernah ditetapkan secara empiris^[3], yaitu 18.5 cm, karena nilai empiris tersebut ditetapkan tidak bersifat umum sehingga tidak bisa digunakan.

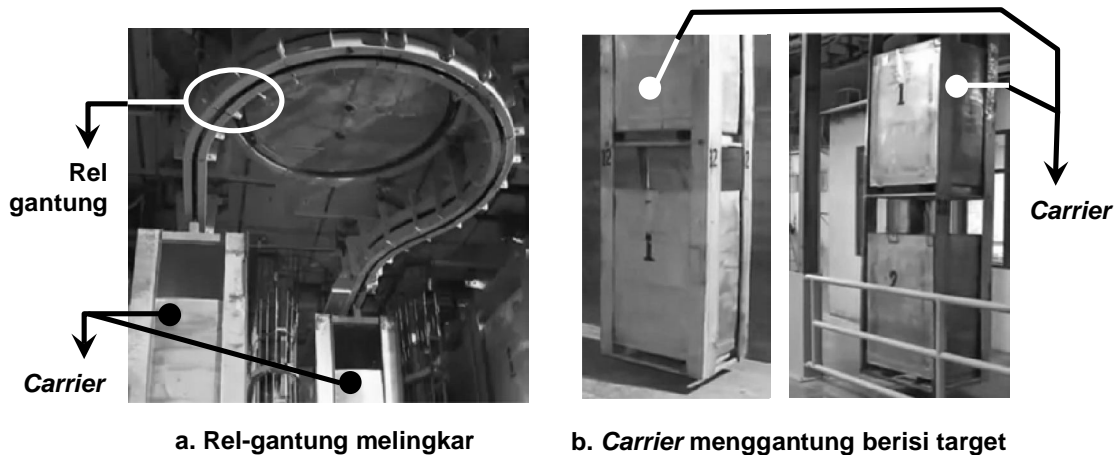


Gambar 8. Carrier bergerak pada lintasan lurus dan lengkung

Dengan menggunakan nilai jarak antar carrier minimum, maka ketika carrier bergerak pada lintasan melingkar, gesekan atau tumbukan antar carrier tidak akan pernah terjadi. Pada Gambar 8.a ditunjukkan simpangan s_1 adalah akibat dari gaya sentrifugal karena lintasan yang melingkar, dan simpangan s_2 adalah akibat ayunan akibat perubahan lintasan dari melingkar menjadi lurus atau jika carrier harus berhenti secara mendadak pada lokasi tersebut. Dengan menggunakan jarak antar carrier minimum tersebut, pengaruh simpangan terhadap gerakan carrier di lintasan dapat di atasi.

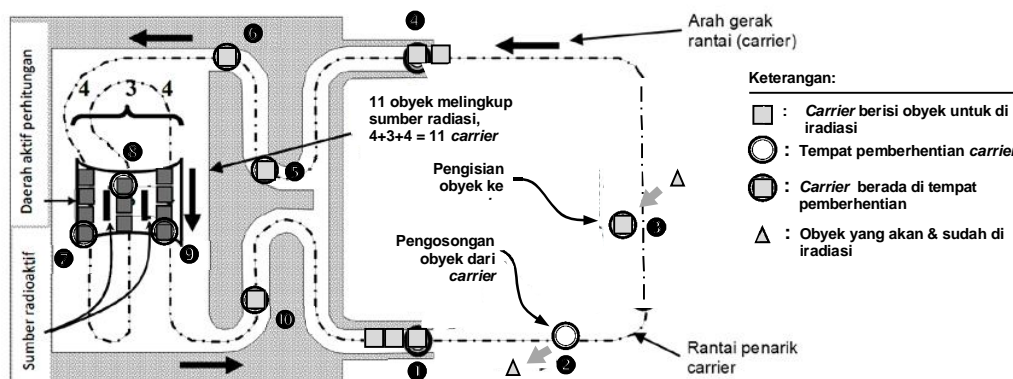
Gambar 9 adalah sebuah contoh instalasi iradiator di PT Relion, Bekasi, yang menggunakan rel-gantung dengan lintasan melingkarnya. Pada instalasi tersebut, carrier dengan berat ~ 200 Kg serta tinggi ~ 3 meter menggantung pada rel, dan carrier bergerak dengan kecepatan 7 meter/menit. Dari pengamatan secara visual ketika sedang beroperasi, gerakan carrier yang melingkar tersebut mengakibatkan simpangan cukup

kecil. Sehingga simpangan sebesar 4 cm dari perhitungan menggunakan persamaan (2) untuk sistem iradiator IR-200K secara analogi dapat diterima. Oleh karena itu, pembatasan kecepatan *carrier* dalam bergerak tidak disebabkan oleh potensi simpangan yang akan terjadi (karena cukup kecil nilainya), tetapi oleh potensi tumbukan yang akan terjadi jika *carrier* tiba-tiba berhenti. Energi kinetik *carrier* yang berisi target dengan masa yang cukup besar (~200 Kg) akan menjadi besar untuk kecepatan tinggi sehingga berpotensi merusak, oleh karena itu kecepatan gerak *carrier* harus dibatasi.



Gambar 9. Contoh rel-gantung melingkar dan *carrier* di instalasi iradiator

Jarak minimum antar *carrier* pada lintasan lurus harus diperhitungkan jika diprediksi bahwa deretan *carrier* dalam segmen gerakannya akan melalui lintasan melingkar, dan tidak perlu diperhitungkan selama dalam segmen lintasan yang akan dilalui selalu lurus. Desain gerak *carrier* pada instalasi iradiator IR-200K bersifat diskrit, yaitu *carrier* selalu bergerak dan akan berhenti jika terhalang oleh *carrier* didepannya dalam lintasan dan atau melewati tempat pemberhentian (*stopper*) *carrier*. *Carrier* akan bergerak kembali ketika *carrier* penghalang telah bergerak kembali dengan jarak tertentu atau mendapat perintah bergerak ketika *carrier* berhenti di tempat pemberhentian *carrier*. Dengan pola ini tempat pemberhentian *carrier* bisa berfungsi sebagai pengendali jarak antar *carrier* dalam gerakan^[4].



Gambar 10. Sepuluh tempat pemberhentian *carrier* dalam lintasan^[1]

Desain instalasi iradiator IR-200K memiliki 10 tempat pemberhentian *carrier* seperti ditunjukkan pada Gambar 10^[1], yaitu *stopper* ❶ s/d ❿. Dari desain tersebut, pengendalian jarak antar *carrier* harus dilakukan pada semua *stopper* selain *stopper* ❶. Namun demikian, pola gerak diskrit iradiator IR-200K hanya akan memerintahkan *carrier* yang berhenti di *stopper* untuk bergerak setelah *carrier* yang bergerak pada lintasan efektif terpanjang di ruang iradiasi sampai pada tujuan, dan lintasan terpanjang efektif adalah lintasan ❷ - ❸ yaitu 9,453 meter^[1]. Oleh karena itu, jarak antar *carrier* yang bergerak pada lintasan yang melingkar akan selalu lebih besar dari 1,2 meter.

4. KESIMPULAN

Jarak minimum antar *carrier* dalam bergerak di lintasan yang melengkung tergantung pada tinggi, panjang dan lebar *carrier* serta jari-jari kelengkungan lintasan. Jarak minimum antar *carrier* pada instalasi IR-200K ditentukan oleh jari-jari kelengkungan lintasan terkecil karena dimensi *carrier* yang digunakan selalu tetap. Jarak minimum antar *carrier* ini tidak mempengaruhi kecepatan produksi ataupun waktu ekspose target di ruang iradiasi karena pola gerak desain instalasi iradiator IR-200K adalah gerak diskrit menggunakan 10 *stopper*. Jarak antar *carrier* minimum ditetapkan 1,2 meter, yaitu 11,5% lebih besar dari jarak minimum menurut perhitungan secara teoritis. Langkah ini untuk prediksi toleransi kesalahan dalam konstruksi instalasi dan hal-hal lain seperti ayunan yang tidak terduga dalam proses iradiasi yang sedang berjalan.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] SUNTORO A., *Rancangan Pengendalian Gerak Carrier Pada Iradiator Gamma IR-200 K*, Jurnal Perangkat Nuklir Vol. 7, No. 2, Nopember 2013.
- [2] WIKIPEDIA, *Centrifugal Force.*, http://en.wikipedia.org/wiki/centrifugal_force, Dibuka 10 April 2014.
- [3] KHASAN NUR, Sanda, Budihardjo S., *Perhitungan Jarak Minimal Antar Carrier Di Dalam Ruang Iradiasi Pada Disain Dasar Iradiator Gamma ISG-500.*, PRIMA., Vol. 7 No. 13., Juni 2010.
- [4] SUNTORO A., *Studi Pola Gerak Carrier pada Rencana Iradiator Gamma Serba Guna.*, Prosiding PPI Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, PTAPB-BATAN, Jogja, 20 Juli, 2010.