

**EVALUASI PENGARUH PAPARAN RADIASI TERHADAP EFEK  
SITOTOKSIK DAN GENOTOKSIK PADA *Allium cepa* SEBAGAI  
BIOINDIKATOR KONDISI LINGKUNGAN KERJA BAGIAN  
RADIOLOGI RUMAH SAKIT**

***EVALUATION OF RADIATION EXPOSURE EFFECT AGAINST  
CYTOTOXIC AND GENOTOXIC EFFECT TO *Allium cepa* AS  
BIOINDICATOR OF OCCUPATIONAL ENVIRONMENT CONDITION IN  
THE HOSPITAL RADIOLOGIC UNIT***

**\*<sup>1</sup>Yunika Sopandi dan <sup>2</sup>Indah Rachmatiah Siti Salami**

Program Studi Magister Teknik Lingkungan  
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung,  
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132  
e-mail: <sup>1</sup>yunikasopandi@yahoo.com dan <sup>2</sup>indahrss@tl.itb.ac.id

**Abstrak:** Penggunaan radiasi pengion dalam bidang kedokteran semakin mengalami peningkatan terutama pada pemeriksaan diagnostik, radioterapi, serta intervensi non-bedah. Teknik diagnosis dan intervensi non-bedah seperti fluoroskopi, radiologi dan kardiologi intervensi menghasilkan dosis radiasi yang tinggi tidak hanya pada pasien tetapi juga pada pekerja medis. Oleh karena itu, penting untuk melakukan pemantauan kondisi lingkungan kerja pada kegiatan medis tersebut untuk melindungi pekerja dari efek kesehatan jangka panjang akibat paparan radiasi. Pemantauan efek langsung pada makhluk hidup akibat paparan radiasi pengion hampir jarang dilakukan. Penelitian ini dilakukan untuk mengevaluasi kondisi lingkungan kerja rumah sakit yang terpapar radiasi pengion menggunakan *Allium cepa* sebagai bioindikator. Penelitian dilakukan di RSUP dr. Hasan Sadikin Bandung pada empat (4) lokasi yaitu ruang periksa dan operator pada tindakan kardiologi intervensi, ruang periksa dan operator tindakan fluoroskopi, ruang operator tindakan CT-Scan dan radioterapi. Bioindikator ditempatkan pada masing-masing ruang tindakan tersebut. Efek yang dilihat pada tanaman *A. cepa* adalah indeks mitotik dan aberasi kromosom. Hasil perhitungan dosis radiasi pada semua ruang operator di keempat lokasi studi masih berada di bawah nilai ambang batas, begitu pula dengan nilai rerata indeks mitotik dan aberasi kromosom yang dapat dikatakan tidak bersifat toksik terhadap sel *A. cepa*. Sementara itu dosis radiasi pada ruang periksa kardiologi intervensi berada di atas ambang batas, hal ini pun sejalan dengan nilai indeks mitotik dan aberasi kromosom yang dihasilkan. Berdasarkan kurva dosis-respon, hubungan antara dosis akumulasi terhadap persentase indeks mitotik dan aberasi kromosom bersifat logaritmik dengan nilai korelasi ( $R^2$ ) yang tinggi yaitu berturut-turut 0,862 dan 0,933.

**Kata kunci:** radiasi pengion, indeks mitotik, aberasi kromosom, *Allium cepa*

**Abstract:** The application of ionizing radiation in the medical field is continuing to increase especially in the use of diagnostic procedure, radiotherapy, and non-surgical intervention. Non surgical diagnostic procedure such as fluoroscopy, interventional cardiology produce high radiation dose to patient and the medical staff as well. It is important to monitor the environment of occupational condition due to ionizing radiation exposure in order to protect the worker from the long-term effect due to low-dose radiation exposure. The monitoring of direct effect to organism due to ionizing radiation exposure is still seldom to be observed. This research is conducted to evaluate the occupational environment condition of the hospital, that is exposed by ionizing radiation, using *Allium cepa* as bioindicator. This research is carried out in RSUP dr Hasan Sadikin Bandung in the four different site selected, examination and operator room in interventional cardiology and fluoroscopy procedure, operator room in CT-Scan and radiotherapy procedure. The effect observed on the *A. cepa* are mitotic index, and chromosome aberration. The result of radiation dose to all operator room in the four study site remained below the threshold value as well as the mean value of the mitotic index and chromosome aberration that can be said is not toxic to *A. cepa*. While the accumulation dose of radiation in interventional cardiology examination room is above the threshold, it is in accordance with the value of mitotic index and chromosome aberration resulted. Based on the dose-response curve, the relationship between dose accumulation and the percentage of mitotic index as well as chromosome aberration is logarithmic, with high determination value ( $R^2$ ) respectively 0.862 and 0.933

**Keywords:** ionizing radiation, *Allium cepa*, mitotic index, chromosome aberration

## PENDAHULUAN

Bidang kesehatan dan kedokteran adalah salah satu bidang yang berkembang pesat dengan ditemukannya sinar-X, terutama untuk proses diagnosis penyakit pasien. Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh *United Nations Scientific Committee on The Effects of Atomic Radiation* (UNSCEAR) paparan radiasi yang bersumber dari radiasi buatan manusia, 95 persennya berasal dari aplikasi diagnostik medis (*International Atomic Energy Agency*, 2001). Prosedur diagnostik radiologi dan kardiologi intervensi semakin diminati karena mampu menggantikan proses bedah besar pada pasien, mempercepat dan mempermudah proses diagnostik, serta mempercepat pemulihan pasien pasca pengobatan. Meskipun demikian, dalam praktiknya kedua prosedur diagnosis tersebut ternyata menghasilkan dosis radiasi tinggi, baik itu pada pasien maupun petugas medis selama prosedur berlangsung, yaitu mencapai 10 – 100 mSv (IAEA, 2004).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Vano *et al* pada tahun 2006 di Spanyol, dosis radiasi yang dihasilkan dari aktivitas radiologi intervensi ini dapat mencapai 25 mSv per tahun, dan dosis tersebut telah melebihi batas dosis yang diijinkan yaitu 20 mSv per tahun. Batas dosis aman untuk pekerja tersebut tertera pada *Radiation Protection (Ionizing Radiation) Regulations* tahun 2000 yang mengacu pada *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) tahun 1990. Meskipun demikian, pada dasarnya dosis radiasi dalam lingkungan kerja yang dihasilkan dari kedua prosedur intervensi ini masih tergolong tingkat rendah jika dibandingkan dengan kecelakaan nuklir yang mampu menghasilkan efek deterministik yang parah pada tubuh seperti gangguan sistem saraf pusat, sistem pencernaan, hingga kematian. Akan tetapi, penting untuk memperhatikan risiko jangka panjang atau risiko stokastik dari paparan radiasi dosis rendah secara terus menerus pada pekerja medis pengguna radiasi, terutama pekerja dengan masa kerja yang sudah lama (Alatas, 2012). Risiko stokastik seperti ini mungkin bersifat kecil tetapi dipastikan dapat menginduksi penyakit yang berbahaya. Selain itu, radiasi dosis rendah juga telah terbukti dapat menginduksi peningkatan jumlah limfosit yang bersirkulasi dan aberasi kromosom yang menandai biomarker dari risiko kanker (Kari dan Saunamaki, 2010).

Salah satu upaya pemantauan dosis radiasi yang diterima pekerja pengguna radiasi di lingkungan kerja adalah melalui penggunaan dosimeter perorangan. Hal tersebut dilakukan untuk melindungi pekerja pengguna radiasi dari dosis radiasi yang berlebihan. Sistem pemantauan lain yang dapat diaplikasikan untuk memonitor kondisi lingkungan kerja yang terpapar radiasi pengion ini adalah melihat efek aberasi atau kerusakan kromosom pada makhluk hidup (Alatas, 2012). Hal tersebut hampir belum pernah dilakukan sehingga efek langsung yang nyata pada makhluk hidup akibat paparan radiasi dosis rendah belum banyak diketahui. Salah satu hal yang dapat dilakukan adalah melihat efek paparan radiasi menggunakan tanaman bioindikator. Hal ini pernah dilakukan dalam penelitian yang dilakukan oleh Pesnya dan Romanovsky (2013) yang membuktikan bahwa baik radiasi pengion maupun non-pengion mampu menimbulkan efek pembelahan mitosis yang abnormal, dan aberasi kromosom. Selain itu, efek penting lain yang ditimbulkan dalam penelitian tersebut adalah adanya peningkatan aktivitas pembelahan sel yang dapat menyebabkan terjadinya proliferasi sel yang berlebihan hingga transformasi menjadi sel malignan (kanker). Efek radiasi sinar gamma pada pertumbuhan panjang akar juga telah dibuktikan oleh penelitian Faiftildas *et al* (2012) menyatakan bahwa setelah bawang diiradiasi pertumbuhan akar bawang dan daun mengalami penurunan. Penggunaan bioindikator seperti ini telah banyak diaplikasikan sebagai sistem untuk mengevaluasi kualitas dari suatu lingkungan yang tercemar, dan hasilnya dapat digunakan sebagai peringatan terhadap risiko kesehatan bagi organisme lain dalam lingkungan yang sama (Tedesco & Laughinghouse, 2012).

Adanya lingkungan kerja dalam rumah sakit dimana pekerja terpapar radiasi secara rutin dan dalam dosis dan teknik tertentu yang mungkin dapat melebihi nilai batas dosis radiasi, seperti pada radiologi dan kardiologi intervensi, memungkinkan adanya efek kesehatan tertentu yang terjadi pada pekerja. Oleh karena itu, penting untuk mengevaluasi kualitas lingkungan kerja rumah sakit pengguna radiasi ini menggunakan uji pada bioindikator untuk mengetahui kemungkinan risiko terkecil yang dapat terjadi pada makhluk hidup.

## METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan di Rumah Sakit Umum Pusat (RSUP) dr. Hasan Sadikin Bandung terutama pada lingkungan kerja yang menggunakan sumber radiasi pengion. Survey lapangan dilakukan untuk memilih lokasi penelitian berdasarkan informasi jenis tindakan yang dilakukan, paparan radiasi yang dihasilkan sumber radiasi dan lama waktu tindakan. Berdasarkan hasil survey lapangan tersebut, maka lokasi yang dipilih dalam penelitian ini adalah Unit Pelayanan Radiologi, terutama untuk tindakan *CT-Scan*, dan fluoroskopi, kemudian Instalasi Pelayanan Jantung khususnya tindakan kardiologi intervensi, dan Instalasi Radioterapi dengan sumber radiasi gamma Cobalt-60.

### Populasi dan Sampel Penelitian

Monitoring dilakukan menggunakan tanaman *Allium cepa* atau umbi bawang merah yang berukuran 1,5-2,2 cm atau berat sekitar 2-4 gram. Selanjutnya, efek dari paparan radiasi yang terjadi pada *A. cepa* ini dijadikan sebagai indikator yang merepresentasikan kondisi dari lingkungan kerja. Sampling dilakukan sebanyak dua kali sehingga total *A. cepa* akan digunakan adalah  $\pm 66$  siung.

### Parameter

Parameter yang diukur pada penelitian ini terdiri dari :

- parameter laju dosis radiasi, yaitu sinar-X dan sinar gamma
- parameter dosis akumulasi radiasi (dosis ekuivalen)
- parameter efek yang diamati pada tanaman bioindikator (*A. cepa*) meliputi efek sitotoksik ditinjau dari parameter indeks mitotik dan efek genotoksik yang dilihat melalui parameter aberasi kromosom seperti adanya mikronuklei, *chromosome bridge*, fragmen kromosom, dan kromosom lengket (*stickiness*).

### Pengukuran Laju Paparan Radiasi

Pengukuran laju paparan radiasi dilakukan untuk mengetahui tingkat paparan radiasi pengion pada suatu lingkungan kerja akibat radiasi hamburan yang terjadi selama sumber diaktifkan pada suatu waktu tertentu. Pengukuran dilakukan pada saat tindakan/pemeriksaan berlangsung dengan menggunakan alat ukur surveymeter. Titik-titik pengukuran ditentukan sesuai kondisi teknis dari masing-masing tindakan/pemeriksaan. **Tabel 1** berikut ini menunjukkan pengelompokan lokasi titik pengukuran laju paparan radiasi pada masing-masing tindakan.

**Tabel 1.** Lokasi Pengukuran Laju Radiasi Pengion Pada Masing-Masing Prosedur/Tindakan

No	Unit Pelayanan	Jenis Prosedur/Tindakan	Titik Pengukuran
1	Unit pelayanan radiologi	<i>CT-Scan</i> Fluoroskopi	Ruang operator Ruang tindakan dan ruang operator
2	Instalasi pelayanan jantung	Kardiologi intervensi	Ruang tindakan dan ruang operator
3	Instalasi radioterapi	Radioterapi	Ruang kontrol

### Uji *Allium cepa* dan Metode Sampling

Uji *Allium cepa* dilakukan untuk mengetahui efek sitotoksik dan genotoksik pada bioindikator tanaman *A. cepa*, salah satunya sebagai akibat dari paparan radiasi pengion dalam lingkungan kerja. Sebelum digunakan dalam penelitian, *A. cepa* yang akan digunakan harus dibersihkan terlebih dahulu terutama kulit luar dan akar-akar keringnya. Selanjutnya bawang-bawang tersebut ditumbuhkan selama  $\pm 36$  jam atau hingga panjang akar sekitar 1 cm. Proses pertumbuhan tersebut harus berada dalam kondisi gelap. Setelah tahap tersebut tanaman uji siap untuk digunakan dalam penelitian sesuai dengan lokasi samplingnya. *A. cepa* dalam penelitian ini dibagi ke dalam empat (4) kelompok yaitu:

- kelompok perlakuan pada tindakan kardiologi intervensi terutama pada ruang operator dan ruang pemeriksaan
- kelompok perlakuan pada tindakan fluoroskopi terutama pada ruang operator dan ruang pemeriksaan
- kelompok perlakuan pada tindakan *CT-Scan*, terutama pada ruang operator
- kelompok perlakuan pada tindakan radioterapi
- kelompok perlakuan kontrol negatif
- kelompok perlakuan kontrol positif

Pada masing-masing kelompok perlakuan ditempatkan dua perangkat uji *A. cepa* dimana masing-masing perangkat berisi tiga (triplo) siung *A. cepa* dan kemudian disimpan selama dua hari pada masing-masing lokasi untuk melihat efek akibat dosis akumulasi yang diterima. Sementara itu, kontrol negatif merupakan kelompok *A. cepa* yang ditempatkan pada lingkungan kerja yang tidak terpapar radiasi, misalnya bagian administrasi atau tempat lain yang terbebas dari paparan radiasi pengion, sedangkan kontrol positif adalah kelompok *A. cepa* yang diiradiasi dengan sinar-X dosis tinggi, dimana dalam penelitian ini dosis yang digunakan adalah 4 hingga 9 Sievert. Selanjutnya, bawang-bawang tersebut ditempatkan selama 48 jam dan akuades diganti setiap 24 jam untuk menyediakan medium tumbuh yang tetap segar (*fresh*). Setelah itu dilakukan pengamatan efek mikroskopis.

#### **Pemeriksaan efek genotoksik dan sitotoksik pada sel meristem akar *A. cepa***

Efek sitotoksik dan genotoksik diamati pada sel meristem *A. cepa*. Indeks mitotik dan frekuensi aberasi kromosom dihitung dari 5000 sel untuk setiap bawang. Metode yang digunakan dalam pengamatan aberasi kromosom ini dinamakan metode *squashed* dimana terdapat dua tahap penting terdiri dari tahap fiksasi akar bawang dengan larutan fiksasi yaitu larutan Carnoy, dan tahap pewarnaan kromosom dengan larutan asetokarmin.

#### **Analisis hubungan dosis radiasi lingkungan kerja dengan efek pada *A. cepa***

Dosis radiasi pengion dalam lingkungan kerja didapatkan dari hasil pengukuran laju dosis radiasi dikalikan dengan akumulasi waktu paparan radiasi. Dosis radiasi yang dihasilkan dari perhitungan kemudian dihubungkan dengan indeks mitotik dan aberasi kromosom. Sementara itu, analisis statistik yang digunakan adalah statistik deskriptif, uji kenormalan data dengan menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov, uji signifikansi dengan ANOVA, dan uji korelasi Pearson antara dosis akumulasi radiasi dengan efek yang dihasilkan pada *A. cepa*.

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Berdasarkan hasil survey lapangan, penempatan sampel bioindikator (*A. cepa*) dilakukan pada empat lokasi, yaitu :

1. Ruang untuk prosedur kardiologi intervensi, yang terdiri dari ruang kontrol dan ruang pemeriksaan. Pada prosedur ini digunakan sumber radiasi sinar-X
2. Ruang untuk prosedur fluoroskopi, yang terdiri dari ruang kontrol dan ruang pemeriksaan. Pada prosedur ini digunakan sumber radiasi sinar-X
3. Ruang kontrol pada prosedur *CT-Scan*. Pada prosedur ini digunakan sumber radiasi sinar-X
4. Ruang kontrol pada prosedur radioterapi. Pada prosedur ini digunakan sumber radiasi sinar gamma

#### **Pengukuran Laju Dosis Radiasi**

Pengukuran laju dosis radiasi pada masing-masing lokasi dilakukan pada titik dan jumlah titik yang berbeda tergantung pada kondisi teknis ruangan, seperti luas ruangan, lokasi pemeriksaan pasien, dan letak sumber radiasi. Pada lokasi 1 (ruang prosedur kardiologi intervensi) dan lokasi 2 (ruang prosedur fluoroskopi), pengukuran dilakukan di ruang operator dan ruang pemeriksaan pasien karena pekerja, yaitu dokter dan perawat berada di dekat pasien ketika pemeriksaan berlangsung. Berbeda dengan lokasi 3 (ruang prosedur *CT-Scan*) dan lokasi 4 (ruang prosedur radioterapi), pengukuran laju radiasi dilakukan hanya pada ruang operator. Adanya keterbatasan-keterbatasan secara teknis dalam penentuan titik penempatan bioindikator mengakibatkan

pertimbangan pemilihan titik tersebut didasarkan pada letak yang tidak mengganggu mobilitas dokter dan perawat, serta tidak mengganggu keamanan pasien namun lokasinya harus tetap mewakili sebagian besar posisi perawat dan dokter berada selama pemeriksaan berlangsung. Pada lokasi pertama, pengukuran laju dosis radiasi dilakukan pada 18 titik di sekeliling sumber radiasi, dengan jarak antar titik yaitu 50 cm. Sementara itu, bioindikator diletakkan pada titik 3 (tiga). Berdasarkan hasil uji statistik dengan menggunakan uji Kruskal-Wallis, rerata laju dosis radiasi pada masing-masing titik dalam ruangan ini berbeda secara signifikan dengan nilai signifikansi hitung sebesar 0,000 ( $p\text{-value} < 0,05$ ). Rerata laju dosis radiasi pada titik 3 adalah sebesar  $165,6 \pm 120,6 \mu\text{Sv/jam}$  dengan rentang pengukuran antara 24,5 hingga 781  $\mu\text{Sv/jam}$ . Sementara itu, pengukuran laju dosis radiasi pada lokasi kedua dilakukan pada 8 titik, dan penempatan bioindikator ditentukan pada titik 3. Berdasarkan hasil uji statistik dengan menggunakan uji Kruskal-Wallis, rata-rata laju dosis radiasi pada masing-masing titik berbeda secara signifikan dengan nilai signifikansi hitung sebesar 0,000 ( $p\text{-value} < 0,05$ ). Rata-rata laju dosis radiasi pada titik 3 di lokasi dua adalah  $121,6 \pm 127,7 \mu\text{Sv/jam}$ , dengan rentang pengukuran antara 1,46 hingga 851  $\mu\text{Sv/jam}$ . Hasil perhitungan rata-rata laju dosis pada semua lokasi terangkum dalam **Tabel 1**.

**Tabel 1.** Hasil Perhitungan Statistik Deskriptif Laju Dosis ( $\mu\text{Sv/jam}$ ) Pada Masing-Masing Lokasi Studi

No	Lokasi Studi (LS)	Mean $\pm$ SD ( $\mu\text{Sv/jam}$ )		Rentang Pengukuran ( $\mu\text{Sv/jam}$ )	
		Ruang Pemeriksaan	Ruang Operator	Ruang Pemeriksaan	Ruang Operator
1	LS1 (Kardiologi Intervensi)	$165,59 \pm 120,6$	$0,095 \pm 0,025$	24,5 - 781	0,050 – 0,140
2	LS2 (Fluoroskopi)	$121,6 \pm 127,7$	$0,123 \pm 0,038$	1,46 - 851	0,090 – 0,360
3	LS3 (CT-Scan)		$1,134 \pm 0,719$		0,140 – 4,940
4	LS4 (Radioterapi)		$0,139 \pm 0,053$		0,084 – 0,633

Nilai rata-rata laju dosis radiasi pada semua ruang operator di seluruh lokasi studi bernilai kecil dan hampir menyamai nilai laju dosis *background*. Rata-rata laju dosis pada ruang operator lokasi 1 adalah  $0,0949 \pm 0,0253 \mu\text{Sv/jam}$ , sedangkan laju dosis radiasi pada ruang operator di lokasi studi 2 adalah  $0,123 \pm 0,038 \mu\text{Sv/Jam}$ . Jika masing-masing nilai rerata laju radiasi pada ruang operator tersebut dibandingkan dengan ruang pemeriksaan pada lokasi studi yang sama, maka terbukti nilai laju dosisnya jauh berbeda. Sementara itu, pada lokasi tiga (3) (ruang prosedur CT-Scan) dan lokasi empat (4) (ruang prosedur radioterapi) pengukuran laju dosis radiasi dilakukan pada dua titik. Akan tetapi, berdasarkan hasil uji statistik ANOVA satu arah, tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada kedua titik tersebut, dengan nilai  $p\text{-value} > 0,05$  sebesar 0,457 dan 0,349 berturut-turut untuk lokasi tiga dan lokasi empat. Rata-rata laju dosis radiasi untuk lokasi ketiga dan keempat berturut-turut adalah  $1,134 \pm 0,719 \mu\text{Sv/Jam}$  dan  $0,139 \pm 0,053 \mu\text{Sv/Jam}$ .

### Akumulasi Dosis

Akumulasi dosis radiasi merupakan jumlah radiasi yang diserap oleh *A. cepa* selama penempatan di masing-masing lokasi studi. Dosis akumulasi yang diterima oleh tanaman *A. cepa* dapat dihitung melalui **Persamaan (1)** berikut :

$$\text{Dosis akumulasi } (\mu\text{Sv}) = \text{Laju dosis } (\mu\text{Sv/jam}) \times \text{Akumulasi waktu (jam)} \text{ (Persamaan 1)}$$

Variabel waktu dalam persamaan 1 seringkali disebut dengan waktu fluoroskopik dan nilainya tergantung pada tingkat keparahan penyakit pasien, karena semakin parah penyakit pasien maka semakin lama prosedur pemeriksaan atau terapi berlangsung (Vano, 2006).

Seperti telah dijelaskan sebelumnya pada bagian metodologi, *A. cepa* ditempatkan selama dua (2) hari pada masing-masing lokasi studi sehingga dosis akumulasi radiasi yang diserap oleh *A. cepa* merupakan jumlah sinar-X yang diserap selama waktu fluoroskopik tertentu, setelah penempatan

selama dua hari tersebut. Hasil perhitungan dosis ekivalen sesuai **Persamaan (1)** menunjukkan bahwa lokasi studi 1 atau ruang pemeriksaan kardiologi intervensi memiliki dosis paling tinggi dibandingkan dengan ruang pemeriksaan fluoroskopi pada lokasi studi 2 yaitu berturut-turut  $329,35 \pm 239,9 \mu\text{Sv}$  dan  $32,53 \pm 34,18 \mu\text{Sv}$ . Batas dosis ekivalen yang ditetapkan ICRP tahun 1990 menyatakan bahwa maksimum dosis yang masih bisa diterima pekerja adalah 20 mSv per tahun. Jika diasumsikan dosis akumulasi dalam setahun, nilai dosis  $329,35 \mu\text{Sv}$  atau setara dengan 0,164 mSv per hari pada lokasi studi 1 termasuk tinggi, yaitu mencapai  $39,52 \pm 28,79 \text{ mSv}$  per tahun, sedangkan pada ruang periksa lokasi 2 (fluoroskopi) mencapai  $3,90 \pm 4,10 \text{ mSv}$  per tahun. Oleh karena itu, pekerja kesehatan yang sehari-hari bekerja dalam ruangan periksa seperti lokasi 1 dan 2 harus selalu memakai alat pelindung diri dari radiasi seperti apron.

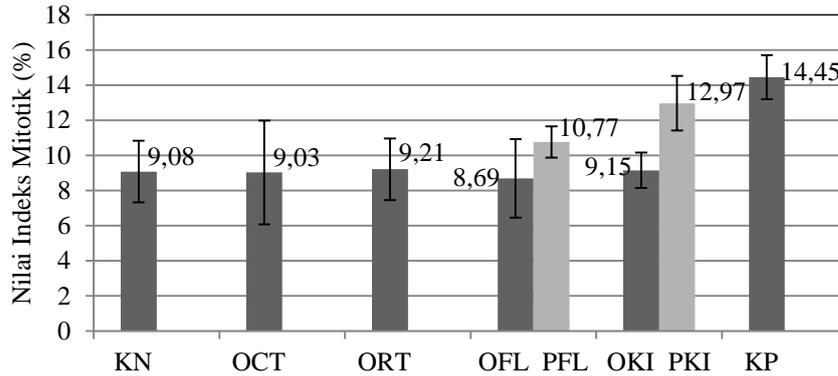
Sementara itu untuk kelompok ruang operator, lokasi 4 (radioterapi) memperoleh dosis akumulasi paling tinggi yaitu  $2,5 \pm 0,95 \mu\text{Sv}$  atau  $0,30 \pm 0,11 \text{ mSv}$  per tahun, kemudian diikuti oleh ruang operator pada lokasi studi 1 (kardiologi intervensi) dengan nilai sebesar  $0,19 \pm 0,05 \mu\text{Sv}$  atau  $0,02 \pm 0,006 \text{ mSv}$  per tahun, lalu lokasi studi 2 (*CT-Scan*) dengan nilai  $0,12 \pm 0,075 \mu\text{Sv}$  atau  $0,014 \pm 0,009 \text{ mSv}$  per tahun, dan yang terkecil adalah ruang operator pada lokasi studi 2 (fluoroskopi) yaitu  $0,033 \pm 0,010 \mu\text{Sv}$  atau  $0,004 \pm 0,001 \text{ mSv}$  per tahun. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut maka dapat disimpulkan bahwa dosis per tahun pada keempat ruang operator di masing-masing lokasi studi masih berada di bawah batas aman.

### **Efek Sitotoksik dan Genotoksik**

Tumbuhan tingkat tinggi dikenal sebagai model genetik yang sangat baik dalam mendeteksi mutagen lingkungan dan seringkali digunakan dalam kajian monitoring lingkungan (Leme, 2009). Di antara spesies tumbuhan, umbi bawang atau *Allium cepa* telah banyak digunakan untuk mengevaluasi kerusakan DNA seperti aberasi kromosom dan gangguan pada siklus pembelahan mitosis. Gangguan pada siklus pembelahan mitosis dikenal sebagai efek sitotoksik sedangkan aberasi atau kerusakan kromosom diketahui sebagai efek genotoksik. Dalam penelitian ini, efek sitotoksik yang terjadi pada *A. cepa* direpresentasikan oleh persentase indeks mitotik sedangkan efek genotoksik direpresentasikan oleh persentase aberasi kromosom.

#### **a. Indeks Mitotik**

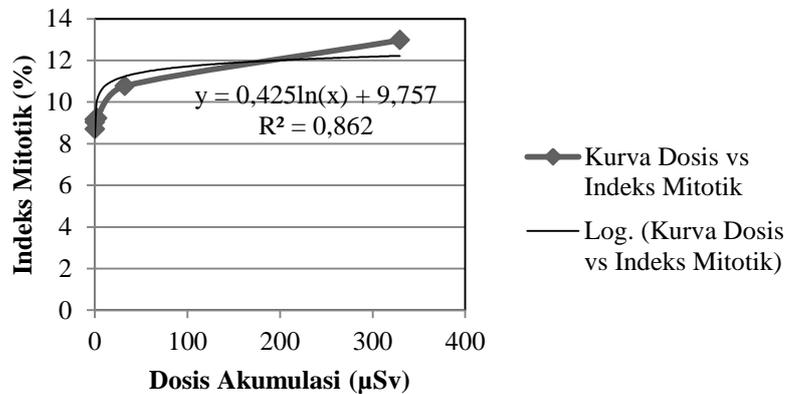
Pengaruh radiasi pengion terhadap indeks mitotik dalam penelitian ini diperlihatkan pada **Gambar 1** dimana peningkatan nilai indeks mitotik terjadi pada kontrol positif (KP) dan ruangan dengan nilai dosis yang tinggi yaitu ruang pemeriksaan pada tindakan kardiologi intervensi (PKI), disusul oleh ruang pemeriksaan pada tindakan fluoroskopi (PFL). Hal ini berbanding lurus dengan nilai indeks mitotik yang dihasilkan, dimana persentase indeks mitotik pada ruangan-ruangan tersebut juga paling tinggi dibandingkan dengan ruangan lain, meskipun tetap lebih rendah daripada kontrol positif. Sementara itu, nilai indeks mitotik pada semua ruang operator nilainya tidak terlalu berbeda secara signifikan terutama jika dibandingkan dengan kontrol negatif (KN). Nilai indeks mitotik tertinggi pada ruang operator dicapai oleh ruang operator pada tindakan radioterapi (ORT). Hal ini sejalan dengan nilai dosis tertinggi yang dimiliki oleh ruangan tersebut dibandingkan dengan semua ruangan operator lainnya. Hasil-hasil yang telah diuraikan tersebut didukung oleh hasil perhitungan statistik menggunakan uji ANOVA satu arah, dimana antara ruang pemeriksaan kardiologi intervensi tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan kontrol positif dengan nilai signifikansi hitung sebesar 0,169 ( $p\text{-value} > 0,05$ ), tetapi memiliki perbedaan yang signifikan dengan semua ruangan lain terutama ruang operator ( $p\text{-value} < 0,05$ ). Artinya bahwa nilai indeks mitotik pada ruangan tersebut hampir menyamai tingginya nilai indeks mitotik pada kontrol positif.



**Gambar 1.**Perbandingan Nilai Indeks Mitotik (Rerata $\pm$  SD (%)) Antar Ruangan Pada Semua Lokasi Studi. Kontrol Negatif (KN), Ruang Operator *CT-Scan* (OCT), Ruang Operator Fluoroskopi (OFL),Ruang Operator Radioterapi (ORT), Ruang Operator Kardiologi Intervensi (OKI), Ruang Pemeriksaan Fluoroskopi (PFL), Ruang Pemeriksaan Kardiologi Intervensi (PKI), dan Kontrol Positif (KP)

Sementara itu, perbandingan nilai indeks mitotik antar ruang operator pada semua tindakan secara statistik tidak memiliki perbedaan rerata yang signifikan ( $p\text{-value} > 0,05$ ) begitu pula jika dibandingkan dengan kontrol negatif (KN). Artinya, nilai dosis yang rendah pada ruang operator tidak menyebabkan efek sitotoksik yang besar pada tanaman bioindikator *A. cepa* dan nilai indeks mitotik yang dihasilkan masih dapat dikatakan normal berdasarkan hasil uji perbandingan secara statistik dengan kontrol negatif.

Hasil uji korelasi bivariat menggunakan uji korelasi Pearson menyatakan bahwa terdapat korelasi positif yang signifikan dengan nilai signifikansi hitung sebesar 0,039 ( $p\text{-value} < 0,05$ ) antara dosis dengan nilai persentase indeks mitotik. Korelasi tersebut juga termasuk sangat kuat terbukti dengan nilai korelasi Pearson yang tinggi yaitu sebesar 0,732. Kurva hubungan antara dosis terhadap respon seperti pada **Gambar 2** menunjukkan bahwaterdapat korelasi yang bersifat logaritmik antara dosis dengan persentase indeks mitotik.

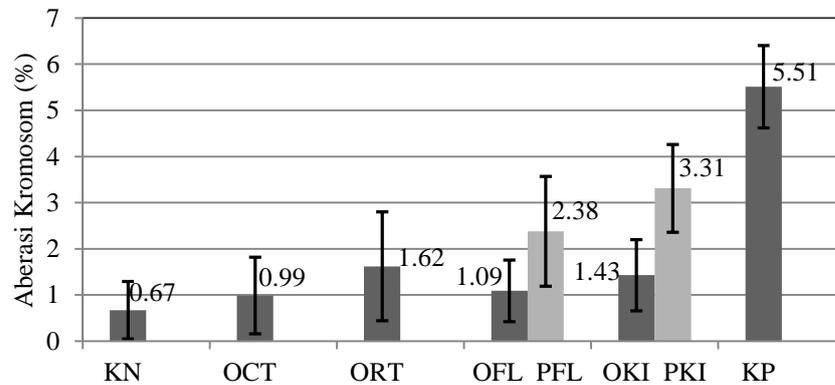


**Gambar 2.**Kurva Dosis Respon Antara Dosis Akumulasi ( $\mu\text{Sv}$ ) dan Persentase Indeks Mitotik (%)

Nilai  $R^2$  sebesar 0,862 menunjukkan bahwa kenaikan logaritmik indeks mitotik, 86,2%-nya dipengaruhi oleh kenaikan dosis akumulasi. Peningkatan nilai indeks mitotik yang berbanding lurus dengan nilai dosis sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Pesnya dan Romanovsky (2013) dimana iradiasi *A. cepa* dengan radiasi pengion dapat meningkatkan stimulasi pembelahan sel yang dicirikan dengan meningkatnya nilai indeks mitotik. Peningkatan stimulasi pembelahan sel ini dapat merugikan bagi makhluk hidup terutama jika terjadi pertumbuhan sel yang tidak terkendali atau seringkali disebut sel tumor/malignan.

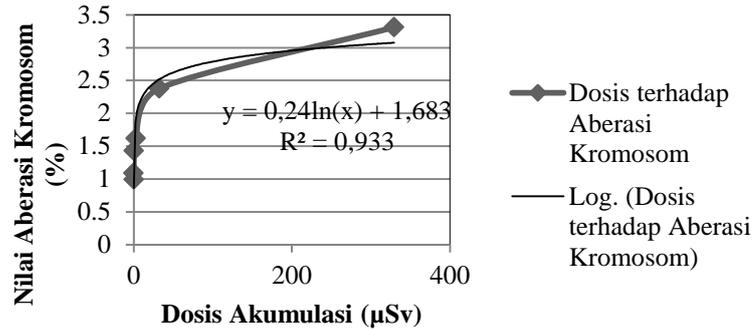
## b. Aberasi Kromosom

Aberasi atau kerusakan kromosom ditandai dengan perubahan struktur pada kromosom dibandingkan dengan kondisi normalnya. Kerusakan tersebut dapat terjadi secara spontan atau akibat dari adanya paparan oleh agen kimia maupun fisika (Leme dan Morales, 2009). Pada penelitian ini, efek yang menghasilkan nilai aberasi tertinggi terjadi pada kontrol positif yang mencapai nilai  $5,51 \pm 0,89$  %, kemudian ruang pemeriksaan kardiologi intervensi (PKI), diikuti oleh ruang pemeriksaan fluoroskopi (PFL), dan ruang operator radioterapi (ORT) (**Gambar 3**). Keempat lokasi tersebut memang menghasilkan dosis yang tinggi dibandingkan ruangan lainnya.



**Gambar 3.** Perbandingan Nilai Aberasi Kromosom (Rerata  $\pm$  SD (%)) Antar Ruangan Pada Semua Lokasi Studi. Kontrol Negatif (KN), Ruang Operator Fluoroskopi (OFL), Ruang Operator CT-Scan (OCT), Ruang Operator Kardiologi Intervensi (OKI), Ruang Operator Radioterapi (ORT), Ruang Pemeriksaan Fluoroskopi (PFL), Ruang Pemeriksaan Kardiologi Intervensi (PKI), dan Kontrol Positif (KP)

Berdasarkan hasil uji statistik ANOVA satu arah, terdapat perbedaan yang signifikan antara aberasi kromosom pada kontrol positif dengan semua kelompok *A. cepa* lainnya ( $p$ -value < 0,05). Sementara itu, kelompok *A. cepa* pada ruang pemeriksaan kardiologi tidak berbeda signifikan secara statistik dengan kelompok *A. cepa* pada ruang pemeriksaan fluoroskopi ( $p$ -value = 0,083), tetapi jika dibandingkan dengan semua kelompok pada ruang operator, perbedaan rerata aberasi kromosom bernilai signifikan ( $p$ -value < 0,05). Hal tersebut menunjukkan bahwa dosis tinggi yang dihasilkan pada ruang pemeriksaan mampu menghasilkan efek genotoksik yang tinggi pula pada makhluk hidup. Oleh karena itu, pekerja medis yang berada pada area ini harus selalu menjalankan praktek keselamatan radiasi terutama alat pelindung diri seperti apron. Kemudian, hal yang perlu diperhatikan juga adalah bahwa nilai rerata aberasi kromosom antar ruang operator tidak berbeda secara signifikan ( $p$ -value > 0,05), terutama jika dibandingkan dengan kontrol negatif (KN) sehingga tingkat aberasi pada semua ruang operator masih dapat dikatakan normal. Selain itu, berdasarkan hasil uji korelasi Pearson, terdapat korelasi positif yang signifikan antara dosis dengan persentase aberasi kromosom dengan nilai signifikansi hitung sebesar 0,008 ( $p$ -value > 0,05). Nilai korelasi Pearson yang dihasilkan juga bernilai tinggi yaitu sebesar 0,848, sehingga menunjukkan korelasi yang sangat kuat antara kenaikan dosis terhadap kenaikan frekuensi aberasi kromosom. Hal ini cukup logis mengingat semakin tinggi dosis sinar-X yang diterima, maka semakin kuat kemampuannya untuk bersifat genotoksik atau merusak gen/kromosom. **Gambar 4** berikut ini juga menunjukkan korelasi logaritmik antara dosis akumulasi terhadap frekuensi aberasi kromosom. Nilai  $R^2$  sebesar 0,933 menunjukkan bahwa kenaikan logaritmik aberasi kromosom, 93,3% dipengaruhi secara nyata oleh kenaikan dosis akumulasi.



**Gambar 4.** Kurva Dosis Respon Antara Dosis Akumulasi ( $\mu\text{Sv}$ ) dan Persentase Aberasi Kromosom

Menurut Klusterskaet *al* (1976), kerusakan utama yang disebabkan oleh sinar-X adalah terbentuknya jembatan subkromatid yang menyebabkan kromosom menjadi saling menempel satu sama lain atau seringkali disebut kromosom lengket atau *stickiness*. Jembatan subkromatid tersebut terbentuk karena adanya pelipatan DNA yang tidak tepat ketika proses pembentukan kromosom sehingga serat-serat subkromatid membaur membentuk sambungan (jembatan) subkromatid antar kromosom. Hal tersebut sesuai dengan hasil dari penelitian ini dimana kerusakan struktur kromosom yang teramati sebagian besar berupa kromosom lengket (*sticky*) seperti ditunjukkan oleh **Gambar 5 (b)** dan juga abnormalitas mitotik pada tahap metafase. Penampakan abnormalitas mitotik seperti terlihat pada **Gambar 5 (c)**, sebagian besar terjadi pada tahap metafase dimana terjadinya gangguan benang-benang spindel sehingga kromosom tidak dapat tertarik menuju kutub-kutub sel dan mengganggu proses pembelahan sel.



**Gambar 5 (A)** Pembelahan Mitosis Tahap Metafase yang Normal, **(B)** Kromosom Lengket (*Sticky*) Pada Tahap Metafase dan **(C)** Abnormalitas Mitotik Berupa Gangguan Benang Spindel Kromosom Pada Tahap Metafase

## KESIMPULAN

Hasil perhitungan dosis radiasi pada semua ruang operator di keempat lokasi studi masih berada di bawah ambang batas yaitu 20 mSv per tahun. Akan tetapi, dosis radiasi pada ruang periksa kardiologi intervensi telah melewati ambang batas, meskipun dosis radiasi pada ruang periksa tindakan fluoroskopi masih belum melebihi ambang batas. Nilai indeks mitotik dan aberasi kromosom tertinggi berada pada ruang pemeriksaan kardiologi intervensi, dan secara statistik nilai reratanya berbeda signifikan dengan semua ruangan lain. Sementara itu, nilai rerata indeks mitotik dan aberasi kromosom pada semua ruang operator tidak berbeda secara signifikan dengan kontrol negatif, sehingga efek dosis rendah dalam ruangan operator ini dapat dikatakan tidak bersifat toksik terhadap sel *A. cepa*. Akan tetapi, kecenderungan peningkatan indeks mitotik yang berbanding lurus dengan kenaikan dosis radiasi menunjukkan adanya efek stimulasi radiasi pengion terhadap pembelahan sel. Kondisi ini juga terjadi pada efek aberasi kromosom dimana persentasenya semakin meningkat seiring dengan peningkatan dosis radiasi. Selain itu, hubungan dosis-respon antara dosis akumulasi terhadap persentase indeks mitotik dan aberasi kromosom bersifat logaritmik dengan nilai korelasi ( $R^2$ ) yang tinggi yaitu berturut-turut 0,862 dan 0,933, sehingga dapat disimpulkan bahwa dosis akumulasi secara nyata mempengaruhi kenaikan indeks mitotik dan aberasi kromosom secara logaritmik.

## Daftar Pustaka

- A.,Zubaidah, Lusiyanti, Y., P., Sofiati, Ramadhani,D., L., Masnelly, dan A.S., Viria. 2012. *Respon Sitogenetik Penduduk Daerah Radiasi Alam Tinggi di Kabupaten Mamuju Sulawesi Barat*.Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia, Vol. 13No.1 February 2012
- Faiftildas, Jennifer R., Basuel, Marc Angelo DLC., Guerzon, Faye Mabel P., Santos, Clarilyn N., Tetangco, Jairus Rex G.*The Effect of Radiation on Onion Bulbs*.Diakses pada tanggal 18 Januari 2013 from: <http://edu-sciece.blogspot.com/2012/08/the-effect-of-radiation-on-onion-bulbs.html>
- International Atomic Energy Agency (IAEA), 2004.*Radiation, People, and Environment* (Safety Report Series No. 13)
- Kari and Saunamaki. 2010. *Radiation Protection in the Cardiac Catheterization Laboratory*. Interventional Cardiology Journal 2(5):667-672
- Klasterska,Natarajan, A.T., Ramel, C. 1975. *An interpretation of the origin of subchromatid aberrations and chromosome stickiness as a category of chromatid aberrations*.Hereditas Journal 83:153-162
- Lakhan, Shaheen E., Kaplan, A., Laird, C., and Leiter, Y. 2009. *The Interventionalism of Medicine : Interventional Radiology, Cardiology, and Neuroradiology*. International Archives of Medicine 2:27
- Leme, Daniela Morais and Marin-Morales, M. A. 2009.*Allium cepa test in environmental monitoring: A review on its application*. Mutational Research Journal Review. 682(1):71-81
- Pesnya, Dimitri S., and Romanovsky, A.V.2013.*Comparison of Cytotoxic and Genotoxic Effects of Plutonium-239 Alpha Particle and Mobile Phone GSM 900 Radiation in the Allium cepa Test*. Mutation Research 750: 27-33
- Tedesco, Solange Bosio and Laughinghouse IV H. D. 2012.*Bioindicator of Genotoxicity: The Allium cepa Test*: InTech. Diakses tanggal 4 Februari 2013 dari :[http://www.intechopen.com/ books/environmental-contamination/bioindicator-of-genotoxicitythe-allium-cepa-test](http://www.intechopen.com/books/environmental-contamination/bioindicator-of-genotoxicitythe-allium-cepa-test)
- Vano, E, L. Gonzalez, Fernandez JM, Alfonso F., and Macaya C. 2006.*Occupational Radiation Doses in Interventional Cardiology: a 15-Year Follow-Up*. The British Journal of Radiology 79: 383-388