

## EFEK FRAKSINASI DOSIS RENDAH SINAR-X TERHADAP KUANTITAS SEL DARAH PUTIH

Arga Pratama Rahardian<sup>1\*</sup>, Fani Susanto<sup>2</sup>, Bayu Priambodo Nurharyono<sup>3</sup>

Program Studi Teknologi Radiologi Pencitraan, Universitas Muhammadiyah Purwokerto<sup>1,2</sup>

Instalasi Radiologi, Rumah Sakit Nirmala, Purbalingga<sup>3</sup>

\*Corresponding Author: argarahardian@ump.ac.id

### ABSTRAK

Pekerja radiasi di Instalasi radiologi berpotensi untuk terpapar dosis rendah radiasi sinar-X secara gradual. Paparan dosis rendah tersebut dapat menimbulkan proses ionisasi yang memicu rusaknya sel-sel yang ada dalam tubuh manusia, terutama sel darah putih yang merupakan salah satu sel dengan radiosensitivitas yang tinggi. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efek radiasi pengion yang terfraksinasi terhadap kuantitas sel darah putih. Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif menggunakan *Posttest-only Control Group Design*. Penelitian ini dilakukan pada bulan Juli 2023 di Laboratorium Radiologi Universitas Muhammadiyah Purwokerto menggunakan sampel penelitian berupa 30 ekor Mencit Jantan berusia 2-3 bulan, dengan berat sekitar 40 gram. Sampel dibagi menjadi 3 kelompok, kelompok pertama merupakan kelompok kontrol, kelompok kedua diradiasi dengan 10 x 1 mGy, dan kelompok ketiga diradiasi dengan 30 x 0,33 mGy. Interval untuk setiap fraksi dosis adalah 15 menit. Darah Mencit diambil 1 hari setelah dipapar radiasi dan dihitung kuantitas sel darah putihnya menggunakan Penganalisis Hematologi Otomatis. Data hasil penelitian dianalisis menggunakan *one way ANOVA*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak ada penurunan kuantitas sel darah putih yang signifikan ( $p < 0,05$ ) akibat pemberian fraksinasi dosis rendah radiasi sinar-X. Meskipun penurunan kuantitas sel darah terjadi, penurunan tersebut tidak signifikan dan masih dalam batas normal jumlah kuantitas sel darah putih.

**Kata kunci** : dosis, fraksinasi, radiasi, sinar-x

### ABSTRACT

*Radiation workers in radiology installations have the potential to be gradually exposed to low doses of X-ray radiation. Exposure to low doses of ionizing radiation can cause an ionization process that triggers damage to human cells, especially white blood cells which are radiosensitive cells. Based on this, the study aims to analyze the effect of fractionated ionizing radiation on the quantity of white blood cells. This research is a quantitative study using the Posttest-only Control Group Design. This research was conducted in July 2023 at the Radiology Laboratory of Universitas Muhammadiyah Purwokerto, using a sample of 30 male Mus Musculus aged 2-3 months, which weighed about 40 grams. The sample was divided into 3 groups, the first group was the control group, the second group was irradiated with 10 x 1 mGy, and the third group was irradiated with 30 x 0.33 mGy. The interval for each dose fraction is 15 minutes. The Mus Musculus's blood was taken 1 day after the Mus Musculus were exposed to radiation and the quantity of white blood cells was counted using an Automatic Hematology Analyzer. Research data were analyzed using one way ANOVA. The results showed that there was no significant decrease in the quantity of white blood cells ( $p < 0.05$ ) due to low-dose fractionation of X-ray radiation. Although a decrease in the quantity of blood cells occurs, the decrease is not significant and is still within the normal range of the quantity of white blood cells.*

**Keywords** : dose, fractionation, radiation, x-ray

### PENDAHULUAN

Radiodiagnostik telah terbukti dapat membantu mendeteksi berbagai jenis penyakit, seperti kanker, pneumonia, dan penyakit lainnya (Makaju dkk., 2018; Suman dkk., 2020). Namun radiasi pengion juga terbukti dapat menimbulkan risiko kesehatan bagi tenaga kerja di instalasi radiologi, khususnya bagi para radiografer yang terpapar radiasi (Jabeen dkk., 2010;

Masood dkk., 2013). Sebagai salah satu upaya untuk mengatasi hal tersebut, pemerintah melalui BAPETEN (Badan Pengawas Tenaga Nuklir) telah menetapkan peraturan tentang nilai batas dosis yang harus ditaati oleh semua pihak yang memanfaatkan tenaga nuklir (Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia, 2013).

Jenis paparan radiasi yang diterima oleh radiografer dapat berupa radiasi seluruh tubuh ataupun hanya di bagian tubuh tertentu. Efeknya pada tubuh muncul akibat hasil interaksi radiasi dengan jaringan tubuh yang terpapar radiasi. Responsnya dapat berupa kematian sel ataupun perubahan pada tingkat DNA, sel, jaringan, ataupun organ (Eric & Amato, 2019). Kematian sel dapat menimbulkan efek deterministik sedangkan perubahan sel dapat menyebabkan efek stokastik yang muncul di kemudian hari (Bushong, 2013). Efek deterministik adalah efek biologis yang muncul ketika dosis ambang terlampaui, dan efeknya tidak akan muncul jika dosis radiasi yang diberikan adalah dosis rendah tanpa melampaui dosis ambang. Terdapat hubungan yang jelas antara efek yang ditimbulkan dan dosis radiasinya, sehingga untuk mencegah terjadinya efek deterministik dapat dilakukan dengan mengatur paparan dosis radiasi yang aman untuk manusia. Berbeda dengan efek deterministik, efek stokastik tidak memiliki dosis ambang. Efek stokastik dapat terjadi meskipun dalam batas dosis radiasi yang telah direkomendasikan. Efek stokastik merupakan suatu probabilitas, sehingga dosis radiasi minimal pun dapat menimbulkan efek stokastik dan semakin tinggi dosis radiasinya akan meningkatkan probabilitas terjadinya efek stokastik (Maleachi & Tjakraatmadja, 2018).

Efek tersebut muncul akibat setiap sel memiliki respons yang berbeda saat terpapar radiasi pengion, respons tersebut tergantung dari besar dosis radiasi dan tipe sel yang terpapar radiasi (Alatas, 2003). Pada paparan dengan dosis radiasi yang tinggi, yaitu lebih dari 2 Gy, efek yang timbul terjadi karena kematian sel. Efek tersebut dapat menyebabkan gangguan fungsi tubuh dan dapat menyebabkan suatu gejala yang dikenal sebagai *Acute Radiation Syndrome* (ARS). Tingkat keparahannya tergantung pada dosis radiasi yang diserap tubuh, intensitas paparan radiasi, serta distribusi dosis radiasi di dalam jaringan tubuh (Singh & Seed, 2021). Paparan radiasi juga dapat terakumulasi di dalam tubuh dan menyebabkan perubahan sel. Perubahan ini terjadi karena kerusakan DNA dan kromosom pada sel. Probabilitas timbulnya efek ini meningkat dengan meningkatnya dosis yang diterima oleh tubuh, namun tingkat keparahannya tidak tergantung dengan bertambahnya dosis (Eric & Amato, 2019). Tidak ada kepastian bahwa efek stokastik akan terjadi. Hubungan sebab-akibat munculnya efek stokastik sulit untuk dibuktikan. Belum ada data studi pada manusia yang menunjukkan bukti yang meyakinkan dari hubungan langsung antara radiasi dan efek stokastik yang timbul. Hanya ada perkiraan risiko yang didasarkan terutama pada percobaan dengan mencit (Woroprobosari, 2016).

Salah satu sel yang sensitif terhadap radiasi adalah sel *hematopoietic* khususnya sel darah putih (*lymphocytes*) yang merupakan sel dengan tingkat pembelahan relatif cepat (Setyawan & Djakaria, 2014). Paparan radiasi seluruh tubuh dapat menyebabkan berkurangnya jumlah sel darah, khususnya sel darah putih. Berkurangnya jumlah sel darah diketahui semakin signifikan dengan bertambahnya dosis yang diterima oleh tubuh. Laju dosis juga merupakan salah satu faktor yang dapat menyebabkan penurunan jumlah sel darah, khususnya sel darah putih (Al-Basheer dkk., 2014; Billings dkk., 2015; El-Shanshoury dkk., 2016; Flidner dkk., 2012; Marshall dkk., 1958; Ravi dkk., 2008). Sel darah putih berfungsi menghasilkan antibodi sebagai bentuk perlawanan tubuh melawan zat asing berbahaya yang masuk ke dalam tubuh. Ketika jumlah sel darah putih berkurang secara signifikan, tubuh akan mudah terserang penyakit dan infeksi yang berbahaya. Kondisi rendahnya sel darah putih biasa disebut dengan Leukopenia (Adamietz dkk., 1996). Pada dasarnya dosis radiasi di lingkungan radiologi atau radiodiagnostik masih tergolong tingkat rendah jika dibandingkan dengan radioterapi atau peristiwa kecelakaan nuklir yang menghasilkan dosis radiasi sangat besar dan dapat menghasilkan efek yang parah pada manusia. Namun, Radiasi dengan dosis serendah berapa

pun, dapat menimbulkan efek kesehatan karena radiasi pengion dapat menimbulkan proses ionisasi yang kemudian dapat merusak jaringan tubuh manusia, bahkan dapat merusak rantai susunan DNA (A. E Noor & Normahayu, 2014; Alatas, 2003; Darmini dkk., 2014; Setyawan & Djakaria, 2014; Yunus dkk., 2019)

Dosis tinggi radiasi pengion memiliki efek yang lebih mudah untuk diamati daripada radiasi dosis rendah. Paparan dosis tinggi radiasi lebih dari sama dengan 2 Gy dapat menyebabkan kematian dalam 4 sampai 6 minggu akibat kerusakan sistem *hematopoietik* jika pasien tersebut tidak menerima pengobatan secara langsung. Pada dosis yang lebih tinggi, jaringan dan organ lain juga mengalami kerusakan akibat kerusakan besar pada DNA (Y. Zhang dkk., 2022).

Hingga saat ini masih terjadi perdebatan mengenai efek radiasi dosis rendah, bahkan definisi dosis rendah masih belum jelas. Namun, beberapa ahli mendefinisikan dosis yang lebih rendah dari 500 mGy dianggap sebagai dosis rendah (Henry & Arcangeli, 2021), dan pada dosis rendah radiasi dengan LET tinggi diketahui tidak mengakibatkan peningkatan produksi *Reactive Oxygen Species* (ROS) dan kerusakan DNA yang signifikan (Miousse dkk., 2014). Studi lain menjelaskan bahwa dosis rendah radiasi pada LET tinggi dapat menyebabkan efek langsung berupa penurunan jumlah *hematopoietic stem and progenitor cells* (HSPCs) (Chang dkk., 2016).

Dosis rendah ini tidak menimbulkan efek secara langsung, namun perlu adanya penelitian tentang bagaimana pengaruh dosis rendah radiasi yang terfraksinasi terhadap kuantitas sel darah putih sebagai upaya untuk memperhatikan risiko jangka panjang dari paparan radiasi dosis rendah secara terus menerus pada radiografer. Namun penelitian-penelitian yang ada belum menunjukkan bagaimana pengaruh dosis rendah radiasi yang terbagi-bagi (terfraksinasi) terhadap kuantitas sel darah putih. Sehingga penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh dosis rendah radiasi yang terfraksinasi terhadap kuantitas sel darah putih.

## METODE

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif menggunakan *Posttest-only Control Group Design*. Penelitian dilakukan pada bulan Juli 2023 di Laboratorium Radiologi Universitas Muhammadiyah Purwokerto menggunakan 30 ekor mencit berusia 2-3 bulan, dengan berat sekitar 40 gram. Mencit dikelompokkan menjadi 3 kelompok, kelompok pertama merupakan kelompok kontrol dan 2 kelompok lainnya diradiasi dengan dosis rendah radiasi sebesar 10 mGy. Kelompok kedua diradiasi dengan dosis  $1 \times 10$  mGy sedangkan kelompok ketiga diradiasi dengan dosis  $20 \times 0,5$  Gy. Tiap fraksi dosis diberi jeda selama 15 menit. Setelah proses radiasi dilakukan, diambil darah mencit dengan metode pengambilan darah dari *sinus orbital* mata 1 hari setelah radiasi dilakukan. Perhitungan jumlah sel darah putih dilakukan di Laboratorium Medis program studi Teknologi Laboratorium Medis, Universitas Muhammadiyah Purwokerto menggunakan Penganalisis Hematologi Otomatis. Data berupa jumlah sel darah putih dianalisis secara statistik untuk mengetahui perubahan jumlah sel darah tersebut antara kontrol dan beda perlakuan. Data diuji homogenitas serta distribusi datanya. Analisis statistik yang digunakan adalah Anova (*analysis of variance*) menggunakan program SPSS dengan signifikansi  $p < 0,05$ .

## HASIL

### Paparan Dosis Rendah Radiasi terhadap Kuantitas Sel Darah Putih

Pengaruh paparan dosis rendah radiasi terhadap kuantitas sel darah putih dapat dilihat pada tabel 1. Tabel 1 menunjukkan bahwa terjadi penurunan kuantitas sel darah putih pada mencit

ketika menerima paparan radiasi dengan dosis 10 mGy, namun jumlahnya tidak berbeda secara signifikan ( $p=0,533$ ) dan masih dalam batas nilai normal jumlah sel darah putih.

**Table 1. Hubungan antara Dosis Rendah Radiasi terhadap Kuantitas Sel Darah Putih**

Kelompok	Perlakuan	Jumlah Sel Darah Putih ( $10^3/\mu\text{L}$ )	p Value
Kelompok 1	Tanpa Radiasi	8.64±0.39	0,533
Kelompok 2	Dosis Radiasi 1 x 10 mGy	8.48±0.25	

### Paparan Fraksinasi Dosis Rendah Radiasi terhadap Kuantitas Sel Darah Putih

Pengaruh fraksinasi dosis rendah radiasi terhadap kuantitas sel darah putih dapat dilihat pada tabel 2.

**Table 2. Hubungan antara Fraksinasi Dosis Rendah Radiasi terhadap Kuantitas Sel Darah Putih**

Kelompok	Perlakuan	Jumlah Sel Darah Putih ( $10^3/\mu\text{L}$ )
Kelompok 1	Tanpa Radiasi	8.64±0.39
Kelompok 2	Dosis Radiasi 1 x 10 mGy	8.48±0.25 <sup>a</sup>
Kelompok 3	Dosis Radiasi 30 x 0,333 mGy	8.66±0,29 <sup>a, b</sup>

<sup>a</sup>Tidak berbeda secara signifikan dengan kelompok 1 ( $p > 0,05$ )  
<sup>b</sup>Tidak berbeda secara signifikan dengan kelompok 2 ( $p > 0,05$ )

Tabel 2 menunjukkan bahwa fraksinasi dosis radiasi menyebabkan perubahan jumlah sel darah putih, yaitu berupa kenaikan jumlah sel darah putih, namun jumlahnya tidak signifikan ( $p > 0,05$ ). Jika dibandingkan dengan dosis radiasi tanpa fraksinasi, dosis fraksinasi juga berpengaruh terhadap kuantitas sel darah, namun jumlahnya juga tidak signifikan ( $p > 0,05$ ).

## PEMBAHASAN

### Efek Dosis Rendah Radiasi terhadap Kuantitas Sel Darah Putih

Hasil penelitian menunjukkan bahwa radiasi dosis rendah radiasi pengion sebesar 10 mGy tidak berpengaruh terhadap jumlah sel darah secara signifikan. Meskipun terjadi penurunan, jumlahnya tidak signifikan dan penurunan tersebut masih dalam kisaran nilai normal untuk jumlah sel darah putih mencit yaitu berkisar antara  $5,1 \times 10^3/\mu\text{L}$  –  $11,6 \times 10^3/\mu\text{L}$  (Rudy, 2018). Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Alnahhal dkk. pada tahun 2017 yang menjelaskan bahwa dosis radiasi pada radiodiagnostik tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah sel darah pekerja radiasi (Alnahhal dkk., 2017). Radiasi dosis rendah yang dapat menyebabkan perubahan jumlah sel darah yang signifikan terjadi pada dosis di atas 0,25 Gy (Rahardjo dkk., 2018). Demikian pula Thrall dkk. (2013), mendeteksi penurunan jumlah sel darah putih yang signifikan secara statistik pada 24 jam (satu hari) pasca iradiasi untuk hewan dengan dosis radiasi lebih dari 0,25 Gy dan terjadi penurunan yang signifikan dengan peningkatan dosis. El-Shanshoury dkk. (2016) juga memberikan hasil yang serupa, penurunan jumlah sel darah putih yang signifikan terjadi pada dosis 0,3 Gy dengan tingkat yang signifikan meningkat dengan meningkatnya dosis (El-Shanshoury dkk., 2016) Dalam penelitian ini, jumlah sel darah putih yang masih dalam batas normal jumlah sel darah putih dapat dijelaskan oleh fakta bahwa dosis radiasi terlalu rendah untuk menyebabkan penurunan jumlah darah yang terukur.

Dosis rendah dapat menyebabkan kerusakan sel, tetapi diperlukan radiasi dengan Linear Energy Transfer (LET) yang tinggi. Pada partikel energi tinggi (600 MeV) dosis rendah di bawah 1 Gy dapat menyebabkan penurunan jumlah sel punca *hematopoietik* dan *progenitor*, sedangkan sel dewasa hanya dipengaruhi oleh dosis lebih tinggi dari 1 Gy (Chang dkk., 2016). Namun, sebelumnya, Rozgaj dkk. (1999) melaporkan bahwa paparan jangka panjang terhadap radiasi pengion dosis rendah dapat mempengaruhi sel darah putih dan mengakibatkan

penurunan jumlah darah tetapi pulih dalam beberapa minggu (Rozgaj dkk., 1999). Penurunan jumlah sel darah putih diakibatkan oleh kematian sel akibat efek biologis dari radiasi pengion. Efek merusak utama dari radiasi pengion muncul dari kemampuannya untuk mengionisasi, atau menghilangkan elektron, dari molekul di dalam sel. Sebagian besar kerusakan biologis disebabkan oleh elektron yang berasal dari proses ionisasi. Elektron tersebut dapat menyebabkan ionisasi lebih lanjut pada molekul yang berinteraksi dengannya, proses ionisasi berantai akan terus terjadi dan baru akan berhenti ketika elektron tidak lagi memiliki energi yang cukup untuk melakukan ionisasi. Ionisasi yang terjadi menghasilkan partikel dan molekul yang dapat saling bereaksi (Goodhead, 2006).

Kerusakan sel ini dapat terjadi secara langsung maupun tidak langsung (Ardiny & Subiyantoro, 2014; Bushong, 2013; Supriyadi et al., 2015). Efek langsung radiasi terjadi akibat kerusakan DNA yang secara langsung ditimbulkan oleh radiasi. Di sisi lain, efek tidak langsung terjadi ketika peristiwa pengion terjadi pada molekul lain, melalui radiolisis air dan pembentukan radikal bebas, dan kemudian mentransfer energi ionisasi ke molekul target (Woroprobosari, 2016). Mekanisme tidak langsung melalui radiolisis air menghasilkan radikal hidrogen dan hidroksil bebas yang kemudian berinteraksi dengan molekul organik menghasilkan radikal bebas organik. Sebagian besar kerusakan biologis akibat radiasi pengion ditimbulkan oleh interaksi tidak langsung tersebut (Ratnapalan dkk., 2008).

Radikal bebas adalah salah satu produk yang dihasilkan oleh radiasi, dengan kelebihan energi reaksinya, mereka bermigrasi ke molekul target dan mentransfer energinya, yang mengakibatkan kerusakan DNA dalam sel (Bushong, 2013). Radikal bebas sangat reaktif dan mengalami perubahan yang relatif cepat dan dapat menyebabkan pemutusan ikatan kimia dalam makromolekul. Hal tersebut dapat mengganggu struktur makromolekul seperti DNA, yang menyebabkan konsekuensi parah jika tidak diperbaiki secara memadai atau tepat waktu (Michael & Albert, 2009).

### **Efek Fraksinasi Dosis Rendah Radiasi terhadap Kuantitas Sel Darah Putih**

Hasil pada Tabel 2 menunjukkan bahwa meskipun tidak berpengaruh secara signifikan terhadap kuantitas sel darah putih, fraksinasi dosis dapat mengurangi efek biologis yang ditimbulkan oleh radiasi. Perbandingan antara kelompok 2 dan kelompok 3 menunjukkan kenaikan jumlah sel darah putih. Hal ini menunjukkan bahwa fraksinasi dosis radiasi dapat mengurangi efek biologis dari radiasi pengion. Fraksinasi radiasi dapat menghambat efek berbahaya dari radiasi karena interval waktu setiap fraksi dosis menyediakan waktu untuk perbaikan intraseluler dan penyembuhan jaringan (Bushong, 2013; Michael & Albert, 2009). Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Devi dkk. (2016) bahwa radiasi dosis tunggal dengan dosis yang cukup tinggi dapat menyebabkan terjadinya *apoptosis*. Sedangkan dengan fraksinasi dosis, sel masih mampu bertahan dan memperbaiki diri. Interval waktu antara fraksi radiasi dalam fraksinasi radiasi memungkinkan sel untuk menyembuhkan diri sendiri. Walaupun jumlah radiasi totalnya sama, namun pada fraksinasi radiasi selang waktu tiap fraksi radiasi menyebabkan sel tetap bertahan dan tidak menyebabkan sel mati (Devi dkk., 2016).

Kenaikan jumlah sel darah putih juga dapat mengindikasikan terjadinya *Hormesis* radiasi. *Hormesis* Radiasi mengacu pada respons adaptif sistem biologis terhadap radiasi, respons tersebut menyebabkan sistem di dalam tubuh untuk meningkatkan fungsionalitas dan/atau toleransi terhadap tantangan radiasi yang lebih parah. Selama beberapa dekade terakhir, semakin banyak penelitian yang mengamati secara ekstensif tentang *hormesis* yang diinduksi laju dosis rendah radiasi dalam berbagai sistem biologis, termasuk sistem imunologi dan *hematopoietik* (Ji dkk., 2019; S. Z. Liu, 2003; Yang dkk., 2014; L. Zhang dkk., 2010). Berbeda dengan radiasi dosis tinggi yang diketahui dapat menurunkan sistem kekebalan tubuh, radiasi dosis rendah terbukti dapat menyebabkan *hormesis* yang dapat meningkatkan sistem kekebalan

tubuh, merangsang tubuh untuk mengurangi toksisitas dalam tubuh, meningkatkan respons anti tumor, dan memodifikasi beberapa proses dalam tubuh seperti penuaan, respons adaptif dan kelangsungan hidup sel (Farooque dkk., 2011; Rattan, 2008; Ren dkk., 2006).

Dosis rendah radiasi pengion dalam kisaran mGy dapat menyebabkan efek ganda pada tingkat sel dan DNA. Dosis tersebut memiliki kemungkinan yang sangat kecil untuk menyebabkan kerusakan DNA akibat interaksi yang terjadi, dan akan meningkat dengan bertambahnya dosis. Efek lain pada dosis rendah tersebut adalah perlindungan adaptif terhadap kerusakan DNA dari berbagai sumber. Perlindungan adaptif tersebut menyebabkan pencegahan dan perbaikan kerusakan DNA serta menstimulasi kekebalan. Hal tersebut akan terjadi dalam beberapa jam dan dapat berlangsung selama beberapa hari bahkan sampai beberapa bulan. Respons ini akan terus menurun dengan bertambahnya dosis sampai sekitar 100 mGy dan 200 mGy dan tidak lagi terjadi pada dosis sekitar 500 mGy (Feinendegen, 2016).

Hasil beberapa penelitian yang dilakukan di China menunjukkan bahwa radiasi dosis rendah dapat meningkatkan respons imun dengan meningkatkan respons proliferasi-reaktif dan menekan respons reaktif-*apoptosis* sel imun, mengubah populasi sel imun, dan pelepasan *sitokin*, melalui proses yang sangat kompleks (Ji dkk., 2019; S. Z. Liu dkk., 1996; X. D. Liu dkk., 2003; Lumniczky dkk., 2021; Wang & Cai, 2000). Selain mempengaruhi sistem kekebalan tubuh, beberapa penelitian melaporkan bahwa radiasi dosis rendah dapat menginduksi *hormesis* pada sistem *hematopoietik*. Hasil beberapa penelitian di China menunjukkan bahwa *hormesis* akibat radiasi dosis rendah pada sistem *hematopoietik* terjadi melalui promosi proliferasi sel *progenitor hematopoietik* dan sel punca *mesenkimal* (Li dkk., 2004; S. Z. Liu, 2003; Rithidech & Scott, 2008; Wang & Cai, 2000; L. Zhang dkk., 2010).

Efek biologis negatif dari paparan radiasi pengion dosis rendah berasal dari perbedaan antara probabilitas kerusakan yang ditimbulkan oleh radiasi tersebut dengan perlindungan yang muncul melalui respon adaptif radiasi. Jika probabilitas perlindungan akibat respons adaptif lebih tinggi dari probabilitas kerusakan yang ditimbulkan, maka akan muncul respons *hormesis* (Feinendegen, 2016). Respons adaptif tersebut muncul akibat terjadinya perlindungan terhadap spesies oksigen reaktif, perbaikan DNA karena induksi enzim, dan proses eliminasi sel-sel yang rusak secara genom melalui sistem kekebalan tubuh dan *apoptosis* (Nenoi dkk., 2015; Tapio & Jacob, 2007; Yamaoka, 2011).

## KESIMPULAN

Radiasi dosis rendah tidak berpengaruh secara signifikan terhadap jumlah sel darah putih. Meskipun terjadi penurunan, nilai penurunannya tidak signifikan dan masih dalam batas normal. Fraksinasi radiasi dengan dosis yang lebih rendah dapat mengurangi efek radiasi dan berpotensi menyebabkan *hormesis*.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat, Universitas Muhammadiyah Purwokerto yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. E Noor, J., & Normahayu, I. (2014). Dosis Radiasi Dari Tindakan Ct-Scan Kepala. *Journal of Enviromental Engineering and Sustainable Technology*, 1(2), 84–91.
- Adamietz, I. A., Rosskopf, B., Dapper, F. D., Von Lieven, H., & Boettcher, H. D. (1996). Comparison of two strategies for the treatment of radiogenic leukopenia using granulocyte

- colony stimulating factor. *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*, 35(1), 61–67.
- Alatas, Z. (2003). Efek Kesehatan Paparan Radiasi Dosis Rendah. *Prosiding Seminar Aspek Keselamatan Radiasi dan Lingkungan pada Industri Non-Nuklir*, 27–39.
- Al-Basheer, A., Huang, J., Kaminski, J., Dasher, B., Howington, J., Stewart, J., Martin, D., Jin, J., & Kong, F. P. (2014). Correlation of Integral Dose, White Blood Cell Counts, and Radiation Therapy Techniques for Head and Neck Cancer Patients Under Radiation Therapy. *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*, 90(1), S574.
- Alnahhal, M., Alajeramy, Y., & Mostafa, S. A. (2017). *Assessment of Hematological Parameters among Medical Radiographers at Governmental Hospitals, Gaza Strip*. 7(6), 238–241.
- Badan Pengawas Tenaga Nuklir Republik Indonesia. (2013). *Peraturan Kepala Badan Pengawas Tenaga Nuklir Nomor 4 Tahun 2013 tentang Proteksi dan Keselamatan Radiasi dalam Pemanfaatan Tenaga Nuklir*.
- Billings, P. C., Romero-Weaver, A. L., & Kennedy, A. R. (2015). Effect of Gender on the Radiation Sensitivity of Murine Blood Cells. *Gravitational and space research: publication of the American Society for Gravitational and Space Research*, 2(1), 25–31.
- Bushong, S. C. (2013). *Radiologic Science for Technologists* (Tenth Edit). Mosby.
- Chang, J., Luo, Y., Wang, Y., Pathak, R., Sridharan, V., Jones, T., Mao, X. W., Nelson, G., Boerma, M., Hauer-Jensen, M., Zhou, D., & Shao, L. (2016). Low doses of oxygen ion irradiation cause acute damage to hematopoietic cells in mice. *PLoS ONE*, 11(7), 1–15.
- Darmini, Dahjono, J., & Asri, I. A. (2014). Radiation Dose in Non-Conventional Contrast Radiography Examination. *Jurnal Riset Kesehatan*, 3(1), 460–466.
- Devi, B. C., Yueniwati, Y., & DW, A. (2016). Comparison of Caspase-3 Responses of Tracheal Cells to Gamma Rays Radiation in Single Dose and Fractination Dose. *Majalah Kesehatan FKUB*, 3(3), 121–127.
- El-Shanshoury, H., El-Shanshoury, G., & Abaza, A. (2016). Evaluation of low dose ionizing radiation effect on some blood components in animal model. *Journal of Radiation Research and Applied Sciences*, 9(3), 282–293.
- Eric, J. H., & Amato, J. G. (2019). *Radiobiology for The Radiologist* (Eight Edit). Wolters Kluwer.
- Farooque, A., Mathur, R., Verma, A., Kaul, V., Bhatt, A. N., Adhikari, J. S., Afrin, F., Singh, S., & Dwarakanath, B. S. (2011). Low-dose radiation therapy of cancer: Role of immune enhancement. *Expert Review of Anticancer Therapy*, 11(5), 791–802.
- Feinendegen, L. E. (2016). Quantification of adaptive protection following low-dose irradiation. *Health Physics*, 210, 276–280.
- Fliedner, T. M., Graessle, D. H., Meineke, V., & Feinendegen, L. E. (2012). Hemopoietic response to low dose-rates of ionizing radiation shows stem cell tolerance and adaptation. *Dose-Response*, 10(4), 644–663.
- Goodhead, D. T. (2006). Energy deposition stochastics and track structure: What about the target? *Radiation Protection Dosimetry*, 122(1–4), 3–15.
- Henry, E., & Arcangeli, M. L. (2021). How Hematopoietic Stem Cells Respond to Irradiation: Similarities and Differences between Low and High Doses of Ionizing Radiations. *Experimental Hematology*, 94(6), 11–19.

- Ravi, A., Allbright, R., Christos, P., Brennan, J., Parashar, B., Nori, D., Wernicke, A. G., Alexander, A. S., Wells, D., Berrang, T., Parsons, C., Mydin, A., Shaffer, R., Wong, F., Sayers, D., Otto, K., Wells, D., Berrang, T., Parsons, C., ... Yuh, W. T. C. (2008). Correlations of Longitudinal White Blood Cell Count with Radiation Therapy Outcome for Cervical Cancer. *International Journal of Radiation Oncology Biology Physics*, 72(1), 366–367.
- Ren, H., Shen, J., Tomiyama-Miyaji, C., Watanabe, M., Kainuma, E., Inoue, M., Kuwano, Y., & Abo, T. (2006). Augmentation of innate immunity by low-dose irradiation. *Cellular Immunology*, 244(1), 50–56.
- Rithidech, K. N., & Scott, B. R. (2008). Evidence for radiation hormesis after in vitro exposure of human lymphocytes to low doses of ionizing radiation. *Dose-Response*, 6(3), 252–271.
- Rozgaj, R., Kašuba, V., Šentija, K., & Prlić, I. (1999). Radiation-induced chromosomal aberrations and haematological alterations in hospital workers. *Occupational Medicine*, 49(6), 353–360.
- Rudy, A. N. (2018). *Mengenal Mencit sebagai Hewan Laboratorium* (H. K. Andi, Ed.). Mulawarman University Press.
- Setyawan, A., & Djakaria, H. M. (2014). Efek Dasar Radiasi pada Jaringan. *Journal of Indonesian Radiation Oncology Society*, 5(1), 25–33.
- Singh, V. K., & Seed, T. M. (2021). Entolimod as a radiation countermeasure for acute radiation syndrome. *Drug Discovery Today*, 26(1), 17–30.
- Suman, G., Panda, A., Korfiatis, P., & Goenka, A. H. (2020). Convolutional neural network for the detection of pancreatic cancer on CT scans. *The Lancet Digital Health*, 2(9), e453.
- Tapio, S., & Jacob, V. (2007). Radioadaptive Response Revisited. *Radiation and Environmental Biophysics*, 53, 1–12.
- Wang, G. J., & Cai, L. (2000). Induction of cell-proliferation hormesis and cell-survival adaptive response in mouse hematopoietic cells by whole-body low-dose radiation. *Toxicological Sciences*, 53(2), 369–376.
- Woroprobosari, N. R. (2016). Efek Stokastik Radiasi Sinar-X Dental pada Ibu Hamil dan Janin. *Odonto*, 3(1), 60–66.
- Yamaoka, K. (2011). Beneficial Effects of Low-Dose Radiation on Human Health and Possibility for Application to Medicine. *Acad. Trends*, 11, 75–79.
- Yang, G., Kong, Q., Wang, G., Jin, H., Zhou, L., Yu, D., Niu, C., Han, W., Li, W., & Cui, J. (2014). Low-dose ionizing radiation induces direct activation of natural killer cells and provides a novel approach for adoptive cellular immunotherapy. *Cancer Biotherapy and Radiopharmaceuticals*, 29(10), 428–434.
- Yunus, B., Bandu, K., Radiologi, B., Program, M., Kedokteran, S., Kedokteran, F., & Unuversitas, G. (2019). Efek radiasi sinar-x pada anak-anak. *Makassar Dental Journal*, 8(2), 97–104.
- Zhang, L., Tian, Y., Wu, Y., Zhang, H., Wang, Z., Huo, H., Zhang, Y., Zhang, M., Ning, P., & Jiang, J. (2010). Low-dose radiation-induced hormetic effect on hematopoietic reconstitution. *International Journal of Radiation Biology*, 86(4), 329–333.
- Zhang, Y., Fu, Q., Huang, T., Liu, Y., Chen, G., & Lin, S. (2022). Ionizing radiation-induced DNA damage responses affect cell compressibility. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 603, 116–122.