

ISSN : 2477-0345

**PROSIDING**  
**Seminar Nasional Keselamatan,**  
**Kesehatan, Lingkungan dan**  
**Pengembangan Teknologi Nuklir I**

Tema:  
"Peranan Litbang Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi  
dalam Pemanfaatan Iptek Nuklir untuk Kesejahteraan"

Kawasan Nuklir Pasar Jumat - Jakarta  
25 Agustus 2015

Diselenggarakan oleh:



PTKMR-BATAN



KEMENKES-RI



Dep. Fisika - ITB



FKM - UI

PUSAT TEKNOLOGI KESELAMATAN DAN METROLOGI RADIASI  
**BADAN TENAGA NUKLIR NASIONAL**  
**JAKARTA**

Diterbitkan pada  
Nopember 2015

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas karunia yang diberikan kepada Panitia Penyelenggara, sehingga dapat diselesaikannya penyusunan Prosiding Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan, Lingkungan dan Pengembangan Teknologi Nuklir I dengan tema “Peranan Litbang Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi dalam Pemanfaatan Iptek Nuklir untuk Kesejahteraan, pada bulan Nopember 2015.

Seminar Nasional Keselamatan, Kesehatan, Lingkungan dan Pengembangan Teknologi Nuklir kali ini dihadiri oleh 3 (tiga) pembicara tamu yaitu Mr. S. Somanesan dari Senior Principal Radiation Physicist, Departement of Nuclear Medicine & PET, Singapura General Hospital, Prince Jackson, Ph.D dari Diagnostic Imaging Physicist, Peter MacCallum Cancer Center, dan Dr. Rer. Nat. Freddy Haryanto dari Fisika, Institut Teknologi Bandung. Sebanyak 23 makalah dipresentasikan dalam Sidang Paralel dan 25 makalah dalam sidang Poster. Berdasarkan hasil presentasi dan kriteria penilaian Tim Editor, makalah yang dapat diterbitkan sebanyak 46 makalah yang terdiri dari Kelompok Keselamatan 25 makalah, Kesehatan 13 makalah dan Lingkungan 8 makalah.

Dalam menyelenggarakan seminar ini Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi - BATAN bekerjasama dengan Kementerian Kesehatan RI, Departemen Fisika FMIPA Institut Teknologi Bandung dan Fakultas Kesehatan Masyarakat - Universitas Indonesia.

Semoga penerbitan Prosiding ini bermanfaat sebagai media untuk menyebarluaskan hasil-hasil penelitian dan pengembangan di bidang keselamatan, kesehatan, lingkungan dan pengembangan teknologi nuklir serta sebagai bahan acuan dan informasi dalam melakukan kegiatan pengembangan dan penelitian di bidang keselamatan, kesehatan dan lingkungan.

Kepada semua pihak yang telah membantu penerbitan Prosiding ini, kami mengucapkan terima kasih.

Jakarta, Nopember 2015

Panitia Penyelenggara  
dan Tim Editor

**SUSUNAN TIM PENGARAH DAN EDITOR  
SEMINAR NASIONAL  
KESELAMATAN, KESEHATAN, LINGKUNGAN DAN  
PENGEMBANGAN TEKNOLOGI NUKLIR**

**SUSUNAN TIM PENGARAH**

**Ketua :**

Dr. Ir. Ferhat Aziz, M.Sc.

(Deputi Bidang Sains dan Aplikasi Teknologi Nuklir)

Drs. Susetyo Trijoko, M.App.Sc.

( Kepala PTKMR – BATAN )

**SUSUNAN TIM EDITOR DAN PENILAI MAKALAH**

**Ketua :**

Drs. Mukhlis Akhadi, APU. (BATAN)

**Wakil Ketua :**

Drs. Bunawas, APU. (BATAN)

**Anggota :**

Drs. Nurman Rajagukguk (BATAN)

Dr. Mukh Syaifudin (BATAN)

dr. Fadil Nazir, Sp.KN. (BATAN)

Dr. Eko Pudjadi (BATAN)

Dra. Rini Heroe Oetami, MT. (BATAN)

Prof. Fatma Lestari, Ph.D (FKM-UI)

Dr. Rer. Nat. Freddy Haryanto (ITB-Bandung)

dr. Gani Witono, Sp. Rad. (KEMENKES-RI)

**PANITIA PENYELENGGARA**

**Ketua :** Wiwin Mailana, M.Farm., **Wakil Ketua :** Fendinugroho, S.ST., **Sekretaris :** Dian Puji Raharti, A.Md., **Bendahara :** Kristina Dwi Purwanti, **Seksi Persidangan:** Setyo Rini, SE., Wahyudi, S.ST., Teja Kisnanto, A.Md., Viria Agesti Suvifan, Indri Trisianti, **Seksi Perlengkapan dan Dokumentasi :** Eka Djatnika Nugraha, A.Md., Prasetya Widodo, A.Md., Itong Mulyana, **Seksi Konsumsi :** Helfi Yulianti, A.Md., Eni Suswanti, A.Md. (SK. Kepala BATAN No. 67/KA/III/2015 tanggal 4 Maret 2015).

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
SAMBUTAN KEPALA PTKMR BATAN	ii
SUSUNAN TIM PENGARAH DAN EDITOR	iii
DAFTAR ISI	iv
<b>Makalah Pleno</b>	
1. <i>Radiation Safety issues in Nuclear Medicine</i>	A-1
Mr. S Somanesan (Senior Principal Radiation Physicist, Dept. of Nuclear Medicine & PET, Singapore General Hospital)	
2. <i>Future Directions in Computation of Personalised Radiation Dosimetry</i>	B-1
Price Jackson, Ph.D (Diagnostic Imaging Physicist, Peter MacCallum Cancer Centre)	
3. <i>Monte Carlo Simulation for Dose Assessment in Radiotherapy and Radiodiagnostic</i>	C-1
Dr. Rer. Nat. Freddy Haryanto (Departemen Fisika, FMIPA, Institut Teknologi Bandung)	
<b>Makalah Kelompok Keselamatan</b>	
1. Penentuan Spektrum Neutron di Fasilitas Kalibrasi PTKMR Menggunakan <i>Bonner Sphere Spectrometer</i>	1
Rasito T., Bunawas, J.R. Dumais, dan Fendinugroho	
2. Metode Kalibrasi Dosis Ekuivalen Perorangan, <i>Hp(10)</i> Dengan Pengukuran Langsung Berkas Radiasi Cs-137 Menggunakan Detektor Standar Sekunder Dosis Ekuivalen Perorangan	9
Fendinugroho dan Nurman Rajagukguk	
3. Pengembangan Kriteria Standar Desain Bungkusan Zat Radioaktif Dalam Mendukung Pengawasan Kegiatan Pengangkutan Zat Radioaktif	15
Nanang Triagung Edi Hermawan	
4. Penentuan Parameter Dosimetri Awal Tiga Buah Pesawat Teleterapi Co-60 <i>Gamma Beam 100-80 External Beam Therapy System</i>	23
Nurman Rajagukguk dan Assef Firmando Firmansyah	
5. Metode Ekstrapolasi Efisiensi Untuk Penentuan Aktivitas Radionuklida Lu-177	30
Hermawan Candra, Gatot Wurdianto, Holnisar	

---

6.	Tanggapan Surveimeter Neutron Terhadap Spektrum Campuran Energi Neutron	40
	Moch. Adnan Kashougi, Johan A.E Noor, Bunawas	
7.	Penentuan Efisiensi <i>Whole Body Counter (WBC) Dual Probe NaI(Tl)</i> Pada Lima Kelompok Umur	47
	Intan Permata Putri, Chomsin S. Widodo, Bunawas	
8.	Pemantauan Radiasi Neutron dan Gamma di Fasilitas <i>Cyclotron</i> Selama Produksi Fluor-18	53
	Rosa Dian Teguh Pratiwi, Chomsin S. Widodo, Bunawas	
9.	Perancangan Sistem Otomasi Pengukuran Tebal Bahan Berbasis Arduino	60
	Nugroho Tri Sanyoto	
10.	Pertanggungjawaban Kerugian Nuklir	70
	Farida Tusafariah, Rr. Djarwanti RPS., Suhaedi Muhammad, Gloria Doloressa	
11.	Kinerja Keselamatan dan Umpan Balik Pengalaman Operasi untuk Instalasi Produksi Radioisotop dan Radiofarmaka	78
	Suhaedi Muhammad, Rr.Djarwanti, RPS, Farida Tusafariah	
12.	Pengaruh Suhu Sintesis Terhadap Respon Thermoluminesensi CaSO <sub>4</sub>	83
	Nunung Nuraeni, Dewi Kartikasari, Kri Yudi P.S., Eri Hiswara, Freddy Haryanto, dan Abdul Waris	
13.	Pembuatan <i>Thermoluminescence Dosimeter (TLD)</i> Serbuk CaSO <sub>4</sub> : Tm Sebagai Proses Awal Produksi Disimeter Personal	89
	Mentari Firdha KP, Sutanto, Hasnel Sofyan, Eka Djatnika	
14.	Analisis Keselamatan Radiasi Fasilitas Ruang Kontener Co-60 dan Pesawat Sinar-X pada Laboratorium Kalibrasi PTKMR-BATAN Kantor Pusat	95
	Wijono dan Assef Firmando Firmansyah	
15.	Validasi Hasil Penentuan Dosis Tara Perorangan, Hp(10), untuk Sumber Radiasi Gamma Cs-137 di Laboratorium Dosimetri Standar Sekunder (LDSS) PTKMR-BATAN	102
	C Tuti Budiantari dan Assef Firmando Firmansyah	
16.	Perkiraan Dosis dan Distribusi Fluks Cepat dengan Simulasi Monte Carlo MCNPX pada Fantom Saat Terapi Linac 15 MV	107
	Azizah, Abdurrouf, Bunawas	
17.	Pengujian Kurva Kalibrasi Neutron Dosimeter Perorangan TLD Harshaw pada Radiasi Campuran Gamma dan Neutron	113
	Arini Saadati, Chomsin S. Widodo, Nazaroh	

---

---

18	Perkiraan Dosis Ekuivalen Neutron Termal pada Pasien Radioterapi Linac 15 MV	124
	Fatimah Kunti Hentihu, Johan A.E. Noor, Bunawas	
19	Respon Film Gafchromic XR-QA2 Terhadap Radiasi Sumber Beta Sr-90, Kr-85, dan Pm-147	130
	Nurul Hidayah, Chomsin S. Widodo, Bunawas	
20	Respon Thermoluminescent Dosimeter BARC Terhadap Medan Radiasi Campuran Beta Gamma	137
	Riza Rahma, Chomsin S. Widodo, Nazaroh	
21	Perkiraan Laju Dosis Neutron Termal dan Epitermal di Fasilitas Kalibrasi Alat Ukur Radiasi Neutron PTKMR-BATAN dengan Aktivitas Keping Indium	143
	Nur Khasanah, Chomsin S. Widodo, Bunawas	
22	Penentuan Dosis Serap Air Berkas Elektron Energi Nomonal 6 MeV Menggunakan Fantom "Air Padat" RW3 dan Fantom Air	149
	Sri Inang Sunaryati dan Nurman Rajagukguk	
23	Perkiraan Distribusi Dosis Ekuivalen Foton Pada Pasien Radioterapi Linac 15 MV Dengan Target Abdomen	156
	Adiar Febriantoko, Johan A.E. Noor, Hasnel Sofyan	
24	Penentuan Dosis Fotoneutron Pada Pasien Terapi Linac 15 MV Menggunakan TLD-600H dan TLD-100H	161
	Muhammad Ibadurrohman, Johan A.E. Noor, Hasnel Sofyan	
25	Penentuan Calibration Setting Dose Calibrator Capintec CRC-7BT Untuk F-18	167
	Sarjono, Eko Pramono, Holnisar, Gatot Wurdianto	

#### **Makalah Kelompok Kesehatan**

1.	Faktor Koreksi Solid Water Phantom terhadap Water Phantom pada Dosimetri Absolut Berkas Elektron Pesawat Linac	172
	Robert Janssen Stevenly, Wahyu Setia Budi dan Choirul Anam	
2.	Reduksi Noise pada Citra CT Scan Hasil Rekonstruksi Metode Filtered Back-Projection (FBP) menggunakan Filter Wiener dan Median	179
	Choirul Anam, Freddy Haryanto, Rena Widita, Idam Arif, Geoff Dougherty	
3.	$\gamma$ - H2AX dan Potensinya untuk Biomarker Prediksi Toksisitas Radiasi pada Radioterapi	188
	Iin Kurnia, Yanti Lusiyanti	
4.	Perbandingan Kepadatan Parasit dan Eritrosit pada Dua Strain Mencit Pasca Infeksi <i>Plasmodium berghei</i> Stadium Eritrositik Iradiasi	195
	Teja Kisnanto, Darlina, Septiana, Tur Rahardjo, dan Siti Nurhayati	

5. Daya Infeksi *Plasmodium berghei* Iradiasi Fraksinasi Dengan Laju Dosis Tinggi Pada Sel Darah Mencit 205  
Siti Nurhayati, Hartati Mahmudah dan Mukh Syaifudin
6. Perkiraan Dosis Ekuivalen Neutron Epithermal Pada Pasien Radioterapi Linac 15 MV 215  
Nur Weni, Johan A. E. Noor, Bunawas
7. Perkiraan Dosis Ekuivalen Neutron Cepat Pada Pasien Radioterapi Linac 15 MV 221  
Dyah Fathonah Septiani, Johan A. E. Noor, Bunawas
8. Penentuan Kadar Hormon Insulin Teknik Dengan Teknik *Immunoradiometric assay* dan Gula Darah Pada Sampel Darah Terduga *Diabetes Melitus* 229  
Kristina Dwi Purwanti, Fadil Nazir, Wiwin Mailana, Sri Insani Wahyu W
9. Penilaian Kadar hC-Peptide dan Gula Darah Sewaktu pada Pasien Terduga *Diabetes Melitus* 238  
Sri Insani WW, Fadil Nazir, Wiwin Mailana, dan Kristina Dwi P
10. Studi Efek Radiasi Akibat Paparan Medik 246  
Yanti Lusiyanti dan Darlina
11. Pemeriksaan *Prostatic Acid Phosphatase* (PAP) dan *Prostate Spesific Antigen* (PSA) Sebagai Penanda Metastasis pada Pasien Kanker Prostat 258  
Wiwin Mailana, Kristina Dwi Purwanti, Sri Insani WW, Prasetya Widodo
12. Respon Interferon Gamma Terhadap *Plasmodium falciparum* Radiasi pada Kultur Sel Limfosit Manusia 265  
Darlina dan Siti Nurhayati
13. Pengaruh Adjuvant Addavax Terhadap Histopatologi Hati dan Limpa Mencit Pasca Imunisasi Berulang dan Uji Tantang dengan *Plasmodium berghei* Iradiasi Gamma Stadium Eritrositik 273  
Tur Rahardjo, Siti Nurhayati, dan Dwi Ramadhani

#### **Makalah Kelompok Lingkungan**

1. Kajian terhadap Pelaksanaan Pemantauan Tingkat Radiasi Daerah Kerja di Fasilitas Radiasi PTKMR-BATAN 282  
B.Y. Eko Budi Jumpeno dan Egenes Ekaranti
2. Studi Awal Kurva Kalibrasi untuk Biodosimetri Dosis Tinggi dengan Teknik *Premature Chromosome Condensation* (PCC) 290  
Sofiaty Purnami, Yanti Lusiyanti dan Dwi Ramadhani
3. Penentuan radioaktivitas  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{228}\text{Th}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$  dan  $^{40}\text{K}$  dalam Bahan Pangan di Desa Botteng, Kabupaten Mamuju, Sulawesi Barat 297  
Ceiga Nuzulia Sofyaningtyas, Eko Pujadi, Wahyudi, Elistina

4.	Pengembangan Sistem Pemantauan $^{137}\text{Cs}$ di Tanah dengan Metode Monitor Mobile (Carborne Monitoring) dalam Mode Statis dan Dinamis	303
	Pramudya Ainul Fathonah, Chomsin S. Widodo, Syarbaini	
5.	Faktor Transfer Cs-137 dari Tanah ke Terong ( <i>Solanum melongena</i> )	309
	Leli Nirwani dan Wahyudi	
6.	Laju Dosis dan Tingkat Radioaktivitas $^{40}\text{K}$ , $^{226}\text{Ra}$ dan $^{232}\text{Th}$ dalam Sampel Tanah di Pulau Kundur- Provinsi Kepulauan Riau	315
	Wahyudi, Muji Wiyono, Kusdiana dan Dadong Iskandar	
7.	Pemantauan Radioaktivitas Dalam Air Hujan Periode 2014	325
	Leli Nirwani, R Buchari, Wahyudi dan Muji Wiyono	
8.	Pengaruh Iradiasi Gamma terhadap Zebrafish ( <i>Danio rerio</i> ) Stadium Larva di PTKMR-BATAN	333
	Fatihah Dinul Qoyyimah, Yorienta Sasaerila, Tur Rahardjo, Devita Tetriana	

## DAYA INFEKSI *Plasmodium berghei* IRADIASI FRAKSINASI DENGAN LAJU DOSIS TINGGI PADA SEL DARAH MENCIT

Siti Nurhayati<sup>1</sup>, Hartati Mahmudah<sup>2</sup> dan Mukh Syaifudin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi, BATAN Jakarta

<sup>2</sup>Program studi Farmasi, Institut Sain dan Teknologi Nasional, Jakarta

### ABSTRAK

**DAYA INFEKSI *Plasmodium berghei* IRADIASI FRAKSINASI DENGAN LAJU DOSIS TINGGI PADA SEL DARAH MENCIT.** Malaria masih menjadi salah satu kendala kesehatan terbesar di Indonesia. Teknik nuklir yakni iradiasi gamma dapat digunakan untuk membuat vaksin malaria dengan mengutamakan penentuan dosis iradiasi optimal untuk melemahkan parasit sebagai bahan vaksin. Telah diketahui dosis iradiasi optimal pada laju dosis rendah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui daya infeksi *P. berghei* yang diiradiasi fraksinasi (terbagi) sinar gamma terhadap sel darah merah mencit, disertai penentuan berat badan, warna darah, dan pengamatan fisual organ hati dan limpa mencit pasca infeksi. *P. berghei* sebanyak  $10^6$ /ml diiradiasi fraksinasi (100+50, 100+75 Gy dan 100+100 Gy) (selang antar radiasi adalah 5 menit) dari sumber Co-60 pada laju dosis tinggi (717 Gy/jam), kemudian disuntikkan secara intraperitoneal pada mencit. Pada hari-hari pasca penyuntikan ditentukan persentase parasitemia dengan membuat sediaan Giemsa apusan darah tipis dan diamati menggunakan mikroskop, perubahan berat badan, warna darah, pengamatan hati dan limpa mencit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dosis fraksinasi 100+100 Gy adalah dosis yang paling optimum (efektif) dalam melemahkan atau menekan pertumbuhan parasit malaria *P. berghei* dalam sel darah merah (hingga 0,01%), didukung oleh berat badan mencit yang stabil, warna darah merah segar (anemia ringan) dan tidak terjadi perubahan tampilan hati dan limpa mencit. Namun iradiasi fraksinasi kurang efektif menekan infeksi dibandingkan dengan dosis tunggal. Disimpulkan bahwa daya infeksi parasit dipengaruhi oleh cara iradiasi dan laju dosis.

*Kata kunci : P. berghei, iradiasi fraksinasi, parastemia, laju dosis iradiasi*

### ABSTRACT

**THE INFECTIVENESS OF *Plasmodium berghei* AFTER BEING FRACTIONATED IRRADIATION WITH HIGH DOSE RATE IN BLOOD CELLS OF MOUSE.** Malaria is still a big problem in the health sector in Indonesia. Nuclear technique or gamma irradiation had been widely used to create vaccine for malaria by emphasizing on the determination of optimal irradiation dose to attenuate parasites as vaccine materials. It was known the optimal dose for low dose rate. This research aimed to determine the infectiveness of *P. berghei* after being irradiated with fractionated doses of gamma ray to red blood cells of mouse, completed with notes on body weight, blood color, and visual observation of liver and lymph of mouse after infection. *P. berghei* at  $10^6$ /mL were irradiated with fractionation (100+50, 100+75 Gy and 100+100 Gy) (interval time of 5 minutes) of Co-60 source at high dose rate (717 Gy/hour), and then were injected intraperitoneally into mouse. At days after injection the percentage of parasitemia was observed by making Giemsa stained thin blood smear under microscope and other parameters. Results showed that fractionation dose of 100+100 Gy is the optimal dose (effective) in attenuating or suppress the growth of *P. berghei* in red blood cells (up to 0.01%), supported by stable body weight, fresh color of blood (light anemia) and slight physical alteration of mouse liver and lymph. However this fractionation dose was less effective compared to single dose. It can be concluded that the infectiveness of parasites was influenced by irradiation regimen and its dose rate.

*Keywords : P. berghei, fractionation irradiation, parastemia, high dose rate*

### I. PENDAHULUAN

Malaria hingga saat ini masih merupakan masalah kesehatan di banyak

negara, terutama di daerah tropis dan sedang berkembang. Sekitar 300 juta penduduk diserang setiap tahunnya dan 2-4 juta diantaranya meninggal dunia. Di Indonesia,

meskipun program pemberantasan malaria telah dimulai sejak tahun 1959, namun sampai sekarang angka kesakitan dan kematian akibat malaria masih cukup tinggi [1]. Tingginya prevalensi penyakit akibat infeksi parasit ini disebabkan oleh resistensi plasmodium terhadap obat-obat antimalaria [2]. Untuk pengendalian malaria, pada tahun 1998 telah disepakati Gerakan Berantas Malaria (Gebrak Malaria) yang mencanangkan tiga strategi yaitu: mengontrol vektor malaria, mengembangkan pemakaian obat anti-malaria, dan pengembangan vaksin [3]. Berbagai metode telah digunakan untuk melemahkan mikroorganisme penyebab penyakit untuk membuat vaksin, salah satu diantaranya adalah dengan iradiasi gamma [4].

Penelitian ini dilakukan dengan menentukan dosis iradiasi sinar gamma optimal untuk melemahkan parasit sebagai bahan dasar vaksin menggunakan model *P. berghei* stadium eritrositik dengan mengamati persentase parasitemia sel darah merah pada mencit, dimana daya infeksiya menurun akibat radiasi namun dapat mengaktifkan respon imun mencit [3]. Hasil-hasil penelitian sebelumnya telah diketahui efektivitas sinar gamma untuk melemahkan *P. berghei* sebagai model yakni dosis tunggal sinar gamma yang mencegah infeksi malaria pada mencit [5-8]. Dengan berpedoman bahwa pemberian dosis radiasi dalam tindakan radioterapi terhadap sel kanker biasanya menggunakan dosis radiasi yang berulang (fraksinasi) untuk memaksimalkan efek yang muncul, dan untuk meminimalkan efek negatifnya [9,10]. Tujuan penelitian ini bertujuan mengetahui dosis iradiasi fraksinasi optimum (efektif) pada laju dosis tinggi (717 Gy/jam).

## II. BAHAN DAN METODE

Mikroorganisme yang digunakan pada penelitian ini adalah *Plasmodium berghei* strain ANKA yang diperoleh dari Laboratorium Malaria, Lembaga Biologi Molekuler Eijkman, Jakarta. Hewan uji yang digunakan adalah Mencit *Mus musculus* L. Strain Swiss Webster putih jantan yang berumur sekitar 3 - 4 bulan dengan berat 20-30 gram yang diperoleh dari Lembaga Gizi (Penyakit Tropis) Kementerian Kesehatan, Jakarta.

Penelitian ini diawali dengan pengembangbiakan parasit *P. berghei* secara in vivo kedalam tubuh mencit *Mus musculus* L. Swiss putih jantan dengan umur 3-4 bulan dan bobot 20-30 gram yang disuntikkan secara intraperitoneal. Setelah 2 hari darah mencit diambil dari ekor untuk dibuat sediaan apusan darah tipis dan diwarnai dengan Giemsa 10%. Setelah parasitemia mencapai 10-15%, mencit dianestesi dengan eter, diambil darahnya langsung dari jantung dengan menggunakan syringe 1 mL yang telah diisi antikoagulan *citrate phosphat dextrose* (CPD). Selanjutnya sampel darah diiradiasi sinar gamma menggunakan irradiator IRPASENA Co-60 dengan variasi dosis fraksinasi 0 Gy, 100+50 Gy, 100+75 Gy, 100+100 Gy pada laju dosis tinggi 717 Gy/jam, dengan interval iradiasi fraksinasi pertama dan kedua adalah 5 menit.

Setelah dilakukan iradiasi fraksinasi *P. berghei* disuntikkan kedalam tubuh mencit melalui rute intraperitoneal. Setelah dua hari pasca penyuntikan dilakukan pengambilan darah dari ekor, dibuat sediaan apusan darah tipis dan diwarnai Giemsa 10%, serta dilakukan pengamatan parasit (cincin, trophozoit, dan skizon) menggunakan mikroskop dengan pembesaran 1000x. Juga dilakukan pengamatan berat badan mencit. Pengambilan sampel dan pengamatan dilakukan setiap 2 hari sekali selama 20 hari. Setelah hari ke 20 mencit dianestesi dan diambil darah dari jantung untuk dilihat perubahan warna darah, dan juga dilakukan pengamatan pada hati dan limpa pada mencit untuk dilihat perubahan warna dan bentuk.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengamatan parasitemia

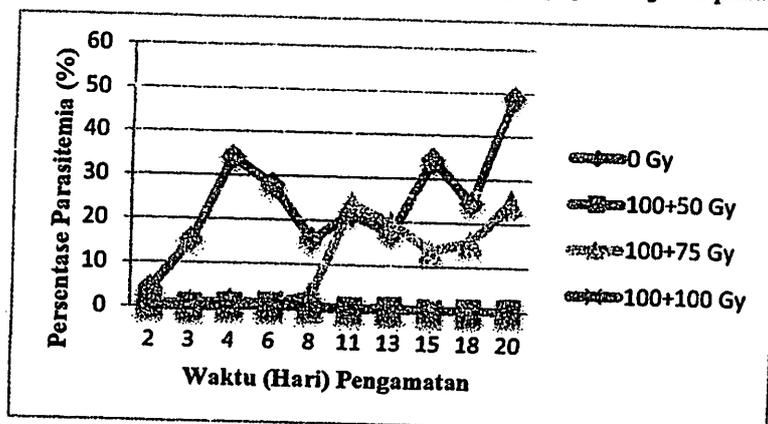
Hasil pengamatan persentase parasitemia berdasarkan bentuk atau tahapan parasit (ring, trophozoit, skizon) dengan variasi dosis fraksinasi 0 Gy, 100+50 Gy, 100+75 Gy dan 100+100 Gy menggunakan laju dosis 717 Gy/jam dari hari ke 2 sampai hari ke 20 pasca penyuntikkan disajikan pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Persentase Parasitemia yang telah diiradiasi fraksinasi dengan variasi dosis 0 Gy, 100+50 Gy, 100+75 Gy, 100+100 Gy pada laju dosis 717 Gy/jam.

Dosis Radiasi	Tahapan Parasit dalam Darah	Persentase Parasitemia (%) pada Waktu (Hari) Pengamatan									
		2	3	4	6	8	11	13	15	18	20
0 Gy	Cincin	4.20	15.20	34.10	27.87	15.70	21.78	17.46	34.35	24.60	49.01
	Trofozoit	0.80	1.80	2.40	1.52	1.26	2.31	28.89	14.85	40.24	17.19
	Skizon	0.10	0.15	0.17	0.23	0.92	0.60	2.82	3.08	4.07	3.74
	Total	5.10	17.15	35.42	29.62	17.80	24.69	49.17	52.28	68.91	69.90
100+50 Gy	Cincin	0.10	0.20	0.57	0.72	0.62	0.03	0.24	0.02	0.07	0.27
	Trofozoit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Skizon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0.10	0.20	0.57	0.72	0.62	0.03	0.24	0.02	0.07	0.27
100+75 Gy	Cincin	0.80	0.90	1.43	1.02	3.02	23.92	19.56	13.74	15.56	24.99
	Trofozoit	0	0	0	0	0.39	0.23	0.33	1.88	4.74	0.21
	Skizon	0	0	0	0	0	0.02	0.08	0.12	0.15	0.44
	Total	0.80	0.90	1.43	1.02	3.41	24.18	19.97	15.74	20.45	25.64
100+100 Gy	Cincin	0.20	0.40	0.51	1.26	0.41	0.20	0.45	0.03	0.04	0.01
	Trofozoit	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Skizon	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0.20	0.40	0.51	1.26	0.41	0.20	0.45	0.03	0.04	0.01

Dari hasil penelitian terlihat bahwa perkembangan parasit bentuk cincin kelompok dosis 0 Gy (kontrol) mengalami peningkatan yang signifikan pada pengamatan hari ke 4 dan menurun sesudahnya, sedangkan pada dosis fraksinasi 100+50 Gy sedikit mengalami peningkatan tetapi pada hari ke 6 mengalami penurunan.

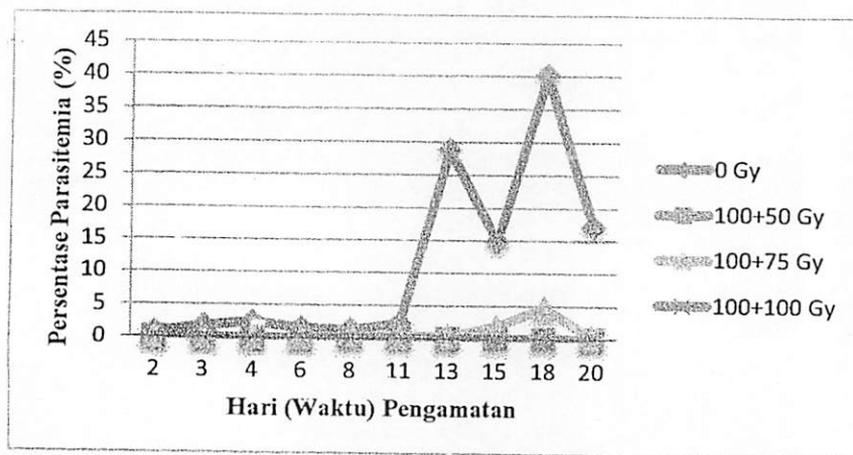
Pada kelompok dosis fraksinasi 100+75 Gy perkembangan parasit cincin mengalami peningkatan, setelah hari ke 13 baru mengalami penurunan. Pada kelompok dosis fraksinasi 100+100 Gy pertumbuhan parasit bentuk cincin terus mengalami penurunan sampai pengamatan hari ke 20. Hasil selengkapnya disajikan pada Gambar 1.



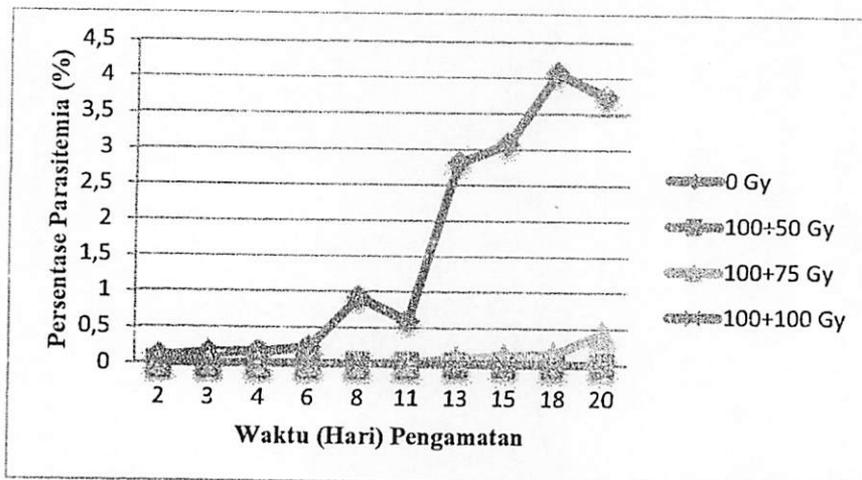
Gambar 1. Grafik Persentase Parasitemia bentuk cincin setelah diiradiasi fraksinasi dengan variasi dosis fraksinasi 0 Gy, 100+50 Gy, 100+75 Gy, 100+100 Gy menggunakan laju dosis 717 Gy/jam.

Dari hasil penelitian dapat dilihat pada kelompok dosis 0 Gy perkembangan parasit bentuk trophozoit terus mengalami peningkatan bahkan terjadi perkembangan yang sangat tinggi pada pengamatan hari ke 18. Pada kelompok dosis fraksinasi 100+50 Gy dan 100+100 Gy perkembangan parasit bentuk trophozoit sudah tidak terlihat lagi dengan persentase 0% tetapi pada kelompok dosis 100+75 Gy parasit muncul kembali pada pengamatan hari ke 8 dan terus meningkat. Hasil selengkapnya disajikan pada Gambar 2.

Untuk bentuk skizon dapat dilihat pada variasi dosis fraksinasi 0 Gy terus mengalami peningkatan yang cukup signifikan, pada variasi dosis fraksinasi 100+50 Gy dan 100+100 Gy perkembangan parasit bentuk skizon sudah tidak terlihat lagi dapat dilihat persentase parasitemia sudah 0%, tetapi pada variasi dosis fraksinasi 100+75 Gy parasit bentuk skizon muncul pada pengamatan hari ke 11 dan terus mengalami peningkatan. Hasil selengkapnya disajikan pada Gambar 3.



Gambar 2. Grafik Persentase Parasitemia bentuk trophozoit setelah diiradiasi fraksinasi dengan variasi dosis fraksinasi 0 Gy, 100+50 Gy, 100+75 Gy, 100+100 Gy menggunakan laju dosis 717 Gy/jam.



Gambar 3. Grafik Persentase Parasitemia bentuk skizon setelah diiradiasi fraksinasi dengan variasi dosis fraksinasi 0 Gy, 100+50 Gy, 100+75 Gy, 100+100 Gy menggunakan laju dosis 717 Gy/jam.

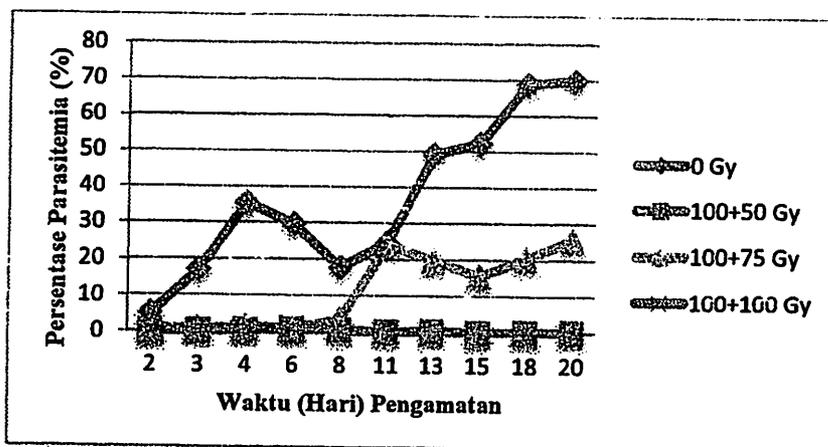
Untuk persentase total dapat dilihat bahwa pada kelompok dosis 0 Gy dari hari ke 2 sampai hari ke 20 mengalami peningkatan yang sangat signifikan. Pertumbuhan parasit terjadi sejak hari ke 2 pasca penyuntikan dan mengalami kenaikan yang sangat cepat pada hari ke 6, dan hari ke 8 mengalami penurunan tetapi setelah itu tumbuh sangat cepat hingga mencapai hampir 70%. Karena tingginya pertumbuhan parasit maka pada hari ke 8 mencit kontrol mati sebanyak 2 ekor dari jumlah sebelumnya sebanyak 3 ekor mencit, yang diduga disebabkan karena sistem imun tubuh tidak cukup kuat menyerang parasit yang masuk sehingga sistem imun terus menurun dan menyebabkan kematian pada mencit.

Pada kelompok dosis fraksinasi 100+50 Gy persentase parasitemia lebih rendah dibandingkan dengan kelompok kontrol dan terus mengalami penurunan. Pada variasi dosis fraksinasi 100+50 Gy pertumbuhan parasit *P. berghei* terlihat sedikit lebih rendah dibandingkan dengan kelompok kontrol walaupun sampai hari ke 6 mengalami peningkatan tetapi setelah hari ke 8 pertumbuhannya tetap rendah. Hal ini menunjukkan bahwa sinar gamma yang digunakan untuk melemahkan mampu melemahkan parasit *P. berghei* yang ada di dalam tubuh mencit donor.

Pada kelompok dosis fraksinasi 100+75 Gy persentase parasitemia mengalami peningkatan yang cukup

signifikan. Pertumbuhan *P. berghei* tetap terjadi bahkan meningkat walaupun tidak sebanyak pada variasi dosis 0 Gy (kontrol). Hal ini diduga karena keadaan hewan uji yang tidak sehat sebelum dilakukan penyuntikan, sehingga 1 ekor mencit dari 3 ekor mencit yang digunakan pada kelompok 100+75 Gy mati pada hari ke 13. Satu ekor mencit lagi terinfeksi dengan persentase parasitemia tiap hari meningkat walaupun sampai pengamatan hari ke 20 masih hidup, tetapi 1 ekor mencit lagi mengalami penurunan pertumbuhan parasit *P. berghei* jadi berarti kelompok variasi dosis 100+75 Gy masih mampu melemahkan parasit *P. berghei* untuk dijadikan vaksin malaria tetapi belum optimum.

Pada kelompok dosis fraksinasi 100+100 Gy persentase parasitemia terjadi pada sel darah merah mengalami penurunan sampai jumlah parasit tidak terlihat lagi hingga mencapai jumlah 0,01%. Pada variasi dosis fraksinasi 100+100 Gy pertumbuhan *P. berghei* masih ada tetapi lebih sedikit dibandingkan dengan variasi dosis fraksinasi 100+50 Gy dan 100+75 Gy, dari hari ke 2 pengamatan sampai hari ke 6 pengamatan terus mengalami peningkatan tetapi setelah hari ke 8 jumlah parasit terus mengalami penurunan sampai jumlah parasit yang tersisa 0,01 % hal ini dikarenakan adanya mekanisme imunitas dari tubuh yang bekerja menekan parasit [11]. Hasil selengkapnya disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Grafik total Persentase Parasitemia (cincin, trophozoit, skizon) setelah diiradiasi fraksinasi dengan variasi dosis fraksinasi 0 Gy, 100+50 Gy, 100+75 Gy, 100+100 Gy menggunakan laju dosis 717 Gy/jam.

Pada penelitian ini terlihat bahwa variasi dosis fraksinasi 100+50 Gy dan 100+100 Gy adalah dosis yang optimum untuk melemahkan parasit *P. berghei* pada mencit, tetapi dosis fraksinasi 100+100 Gy adalah dosis yang paling optimum sampai mampu melemahkan parasit *P. berghei* hingga mencapai 0,01%. Maka kelompok dosis 100+100 Gy adalah dosis yang paling optimum untuk dijadikan vaksin malaria. Dosis iradiasi yang optimum akan menghancurkan DNA, sehingga membuat mikroorganisme tidak mampu melakukan replikasi dan tidak menimbulkan infeksi [11].

Persen parasitemia tertinggi terjadi pada kelompok dosis 0 Gy (kontrol) pada hari ke 20 dengan jumlah parasit sampai mencapai 70 %, tetapi persen parasitemia terendah terjadi pada kelompok dosis 100+100 Gy mencapai 0,01% dengan menggunakan perlakuan iradiasi *P.berghei* dengan sinar gamma menggunakan "irradiator IRPASENA Co-60" menggunakan laju dosis tinggi 717 Gy/jam, *P. berghei* (vaksin) yang telah dilemahkan kemudian disuntikkan melalui rute IP. Maka diketahui semakin tinggi dosis iradiasi semakin turun viabilitas *P. berghei* dan menurunnya viabilitas *P. berghei* akan semakin menurunkan virulensinya, sehingga peluang hidup mencit yang terinfeksi semakin besar [11].

Pada penelitian ini dilakukan pengamatan dengan membedakan fase bentuk pada parasit (cincin, trofozoit dan skizon), tujuannya adalah karena untuk mengetahui efek radiasi terhadap tahapan (siklus hidup parasit malaria) dengan menekankan pengamatan terhadap dosis yang paling sensitif terhadap radiasi. Bentuk cincin sangat dominan terlihat pada dosis 0 Gy pada hari pengamatan ke 20, sedangkan parasit bentuk trofozoit paling dominan terlihat pada dosis 0 Gy pada hari pengamatan ke 18 dan parasit bentuk skizon paling dominan terlihat juga pada dosis 0 Gy pada hari pengamatan ke 18. Sedangkan pada dosis 100+100 Gy parasit bentuk cincin hanya sedikit terlihat sejak awal hari pengamatan sedangkan parasit bentuk trofozoit dan bentuk skizon sudah tidak terlihat lagi. Pada awal hari pengamatan bentuk cincin adalah bentuk yang paling dominan terlihat karena bentuk cincin adalah fase awal terbentuknya parasit,

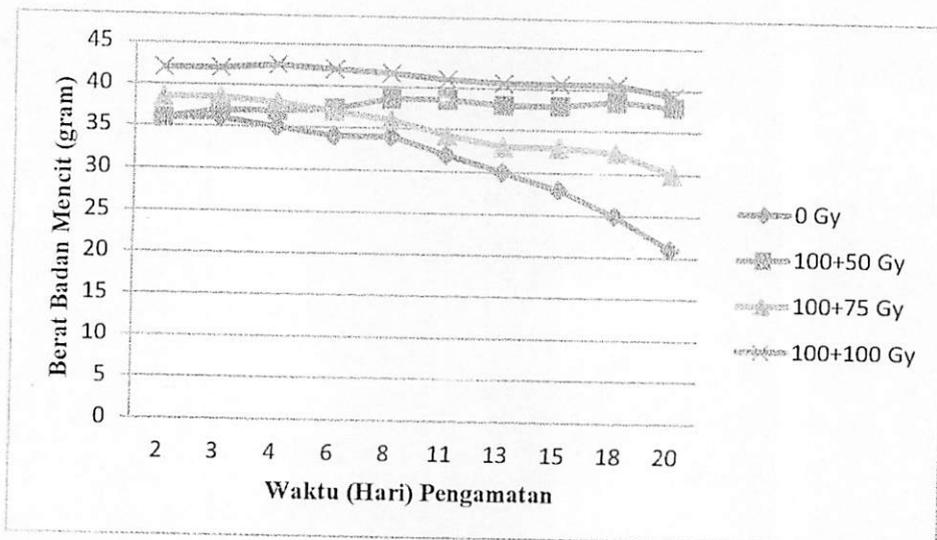
bentuk trofozoit dan bentuk skizon hanya beberapa persen saja terlihat, tetapi setelah hari berikutnya bentuk trofozoit sudah banyak terlihat pada sampel darah mencit bahkan pada dosis 0 Gy hingga mencapai 40,24%, dan bentuk skizon adalah fase bentuk terakhir yang terlihat pada sampel sel darah merah pada mencit karena tidak sampai terlihat parasit bentuk gametosit, bentuk skizon akan membentuk parasit yang nanti akan pecah membentuk parasit bentuk cincin, hal ini dikarenakan semakin parahnya sel darah merah terinfeksi oleh *P. berghei*.

Dari penelitian sebelumnya tentang laju dosis tinggi didapat dosis yang optimum adalah kelompok dosis 100+50 Gy tetapi pada penelitian kali ini dengan menggunakan metode iradiasi berulang (fraksinasi) dosis yang optimum didapat pada kelompok dosis 100+100 Gy. Hal ini karena perbedaan laju dosis yang digunakan.

#### Persentase Berat Badan Mencit

Pada penelitian ini juga dilakukan pengamatan pada berat badan mencit *Mus musculus* L. strain swiss Webster. Perbedaan berat badan yang terjadi tidak terlalu signifikan pada variasi dosis fraksinasi 100+50 Gy, 100+75 Gy, 100+100 Gy tetapi pada kontrol penurunan berat badan sangat terlihat. Pada variasi dosis fraksinasi 0 Gy, 100+50 Gy, 100+75 Gy, 100+100 Gy dari hari ke 2 pengamatan hingga hari ke 20 pengamatan terjadi penurunan berat badan. Hal ini terjadi karena pada dosis ini sistem imun tubuh tidak cukup kuat menyerang parasit yang masuk sehingga imunitas tubuh melemah ditunjukkan dengan penurunan berat badan yang terjadi tetapi tidak terjadi pada kelompok dosis 100+100 Gy berat badan pada mencit tetap stabil [11].

Hasil pengamatan berat badan mencit setelah diiradiasi fraksinasi dengan variasi dosis fraksinasi 0 Gy, 100+50 Gy, 100+75 Gy, 100+100 Gy pada laju dosis 717 Gy/jam dapat dilihat pada Gambar 5 dibawah ini. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat berat badan mencit terus mengalami penurunan dari pengamatan hari ke 2 sampai hari ke 20 pada variasi dosis 0 Gy, 100+50 Gy dan 100+75 Gy tetapi tidak pada kelompok dosis 100+100 Gy yang terus stabil.



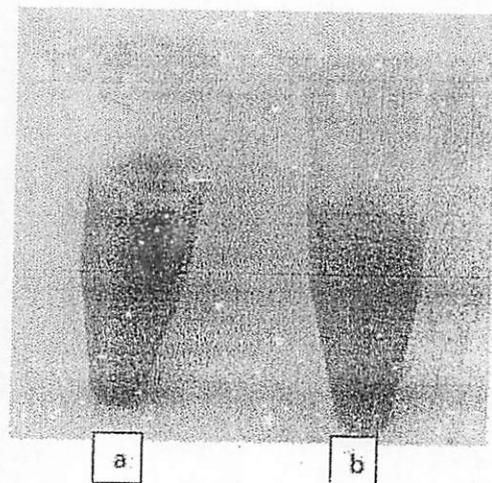
Gambar 5. Grafik berat badan mencit setelah diiradiasi fraksinasi dengan variasi dosis 0 Gy, 100+50 Gy, 100+75 Gy, 100+100 Gy menggunakan laju dosis 717 Gy/jam.

#### Pengamatan Darah dari Jantung, Hati dan Limpa

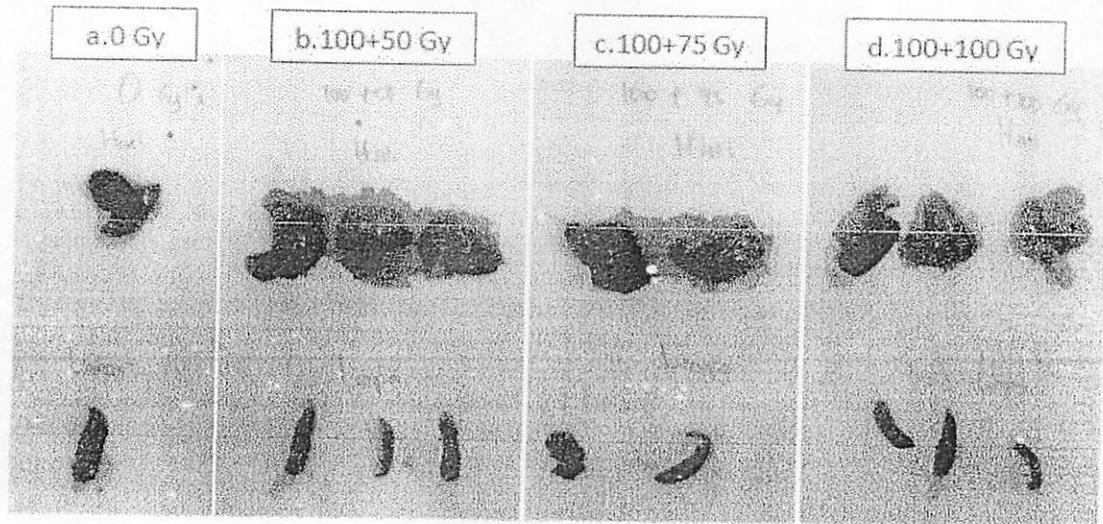
Selain pengamatan perkembangan parasitemia dan perubahan berat badan pada mencit juga dilakukan pengamatan pada darah yang langsung diambil dari jantung, hati dan limpa pada mencit, setelah pengamatan hari ke 20 darah yang diambil langsung dari jantung mencit mengalami perubahan warna dari merah menjadi merah kehitaman, dikarenakan infeksi yang tinggi sehingga menyebabkan sel darah merah berkurang (anemia). Hati dan limpa juga mengalami pembengkakan dan perubahan warna karena merupakan petunjuk adanya infeksi Plasmodium. Selain itu infeksi juga menyebabkan perubahan warna hati dan limpa menjadi coklat kehitaman karena parasit mengeluarkan pigmen hemozoin. Hemozoin merupakan produk detoksifikasi parasit yang dilepaskan ke dalam peredaran darah ketika eritrosit terinfeksi sudah matang. Hemozoin digunakan oleh parasit untuk menghambat fungsi monosit dan tidak bisa berdiferensiasi menjadi sel dendritik [12].

Infeksi parasit *P. berghei* ini membuat jumlah sel darah merah semakin lama semakin sedikit (anemia) sehingga sampai hari ke 20 jumlah sel darah merah hanya tersisa 0,2% dibandingkan jumlah sel darah

merah pada hari ke 2 pengamatan maka ditunjukkan dengan perubahan warna darah dari warna merah menjadi merah kehitaman (Gambar 6). Sehingga hati dan limpa pada mencit yang terinfeksi parasit *P. berghei* mengalami pembengkakan dan perubahan warna pada hati dan limpa dari warna merah menjadi hitam (Gambar 7).



Gambar 6. Tampilan darah yang diambil dari jantung mencit setelah hari ke-20 (a). Terinfeksi ringan (b). Terinfeksi berat (Anemia).



Gambar 7. Hati dan limfa mencit setelah hari ke-20

Pemanfaatan teknologi radiasi dalam bidang vaksin malaria telah digunakan sejak tahun 1967 oleh Nusszweinzig dengan melakukan iradiasi pada nyamuk. Nyamuk yang telah diiradiasi digigitkan ke mencit percobaan. Setelah dilakukan uji tantangan dengan menyuntikkan sporozoit yang hidup ke dalam tubuh mencit, hasilnya 60% mencit mendapatkan proteksi terhadap sporozoit. Percobaan ini merupakan titik awal dari pengembangan vaksin malaria dengan menggunakan teknik nuklir. Stephen Hoffman di USA menyatakan bahwa dosis optimal untuk melemahkan *Plasmodium falciparum* stadium sporozoit adalah antara 150 - 200 Gy [3].

Radiasi Fraksinasi merupakan radiasi berulang dengan dosis kecil, dan interval tertentu. Dampak radiasi fraksinasi dibandingkan radiasi tunggal, radiasi fraksinasi akan menghasilkan kematian sel tumor (keutuhan jaringan normal lebih dapat di pertahankan) [9]. Fraksinasi dalam terapi radiasi ditujukan untuk meningkatkan efek radiasi pada jaringan tumor dan untuk menurunkan efek radiasi pada jaringan normal. Efek samping pada jaringan normal dapat terjadi, baik akut ataupun lanjut (kronis). Efek samping akut terkait dengan singkatnya waktu fraksinasi, semakin singkat waktu total radiasi semakin tinggi efek samping akut radiasi. Sedangkan efek samping lanjut berkaitan dengan besarnya dosis dalam tiap fraksi, semakin tinggi dosis

perfraksi semakin tinggi efek samping lanjut. Dalam penerapannya, sistem fraksinasi dibuat dengan skema yang bervariasi, yang didasarkan pada skema dosis per fraksi, jumlah fraksi, interval waktu fraksi, ataupun berdasarkan perubahan dosis totalnya. Skema fraksinasi tersebut kemudian dikenal dengan istilah-istilah sebagai berikut [9].

#### IV. KESIMPULAN

Dosis fraksinasi 100+100 Gy adalah dosis yang paling optimum (efektif) untuk melemahkan parasit malaria rodensia *P.berghei* menggunakan laju dosis tinggi (717 Gy/jam) pada mencit. Berat badan mencit dosis fraksinasi 100+100 Gy juga yang paling stabil dibanding dosis lain. Pada dosis fraksinasi 100+100 Gy darah mencit tidak mengalami perubahan warna, hati dan limpa mencit juga tidak mengalami perubahan warna dan bentuk dibandingkan dengan kontrol.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Kesetyaningsih, TW., Sundari, Sri. 2013, Efek penambahan Ekstrak *Echinacea* pada Infeksi *Plasmodium berghei*, Jurnal Kedokteran Brawijaya, Laboratorium Parasitologi Fakultas Kedokteran dan Ilmu Kesehatan Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Volume 27 Nomor 3, hal.146-150.

2. Isa, Rinidar, Sugito., 2012, Aktivitas Antiplasmodium Daun Serai (*Wedelia biflora*) berdasarkan Evaluasi Fungsi Ginjal dan Hati pada Mencit yang diinfeksi dengan *Plasmodium berghei*. Jurnal Veteriner, volume 13 Nomor 2, Banda Aceh, hal. 167-175.
3. Darlina., 2011, Parasit Malaria Rodensia sebagai Model Penelitian Vaksin dengan Teknik Nurlir. Buletin Alara, volume 13 Nomor 2, hal. 53-60.
4. Darlina, Kisnanto T., Fauzan A., 2012, Respons Hematopoetik Mencit yang diinfeksi dengan Plasmodium berghei Stadium Eritrosit Iradiasi Gamma. Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi BATAN, hal. 85-94.
5. Syaifudin, M., 2008, Pengembangan Vaksin Malaria dengan Radiasi Pengion. Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi BATAN, Orosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi-II, Lampung.
6. Syaifudin, M., 2012, Produksi Gametosit untuk Mendukung Urgensi Pembuatan Bahan Vaksin Malaria Iradiasi. Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi BATAN, Buletin Alara, volume 14 Nomor 1, ISSN 1410-4652.
7. Syaifudin, M., 2014, Peranan Faktor Imun dan Profil Protein dalam Penelitian dan Pengembangan Vaksin Malaria Iradiasi. Pusat Teknologi Keselamatan dan Metrologi Radiasi BATAN, Biosaintifika *Journal of Biology dan Biology Education*, Indonesia.
8. Nurhayati, S., 2011, Propagasi Plasmodium berghei Iradiasi Gamma Laju Dosis Tinggi pada Mencit (*Mus musculus*). Seminar Nasional Keselamatan Kesehatan dan Lingkungan VII, Jakarta.
9. Loiselle., 2011, "Fractionated" Radiation Therapy : Why Weeks of Treatment, Global Resource for Advancing Cancer Education, Page: 1-3.
10. T, Grieb, A., 2005, Effective Use of Optimized, High-Dose (50kGy) Gamma Irradiation for Pathogen Inactivation of Human Bone Allografts, US National Library of Medicine, National Institutes of Health, Page : 2033-2042.
11. Fitriana, Hesti Ika, 2012, Efek Iradiasi Gamma pada Laju Dosis 380 Gy/jam dan 640 Gy/jam untuk Melemahkan *Plasmodium berghei* pada Mencit (*Mus musculus*), [skripsi], Jakarta, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Sains dan Teknologi Nasional.
12. Ngaliyatun, 2013, Uji Daya Infektivitas *Plasmodium berghei* Iradiasi pada Hati dan Limpa Mencit Menggunakan Metode *Nested-Polymerase Chain Reaction*, [skripsi], Semarang, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.
13. Sutrisno, S., 2004, Status dan Pengembangan Teknik Nuklir untuk Pengendalian Hama di Indonesia. Buletin Batan. Nuklir Mengabdikan Kemanusiaan. Badan Tenaga Nuklir Nasional.
14. Khairinal, 2012, Efek Kurkumin terhadap Proliferasi sel Limfosit dari Limpa Mencit C3H Bertumor Payudara secara In Vitro, [Tesis], Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Program Pascasarjana Departemen Kimia, Universitas Indonesia Depok.
15. Rahardjo, T., Nurhayati, S., 2013, Histopatologi Hati dan Limpa Mencit Pasca Imunisasi Berulang dan Uji Tantang dengan Plasmodium berghei Iradiasi Gamma Stadium Eritrosit, Seminar Nasional VIII SDM Teknologi Nuklir Yogyakarta, ISSN1978-0176.

## TANYA JAWAB

### 1. Penanya : Devita Tetriana

Pertanyaan :

- Bagaimana menentukan dosis fraksinasi? Karena bila dianalogikan pada radioterapi, misal total dosis untuk mematikan sel kanker 50 Gy, maka dibagi menjadi 25 kali, jadi sekali radiasi 2 Gy.

Jawaban :

- Dosis fraksinasi di dalam penelitian ini dimaksudkan dosis terbagi yakni hanya dibagi dua dosis besar (100 dan 50 Gy atau 100 dan 75 Gy atau 100 dan 100 Gy mengingat parasit hanya akan menjadi lemah oleh dosis tinggi (lebih dari 100 Gy). Memang pembagian dosis ini didasarkan pada analogi radioterapi tetapi tidak menggunakan dosis serendah 2 Gy seperti pada fraksinasi radioterapi.

2. **Penanya : Diah Shanti**

Pertanyaan :

- Sampai sejauh mana Litbang vaksin malaria yang sudah dilakukan di BATAN ? Apakah sudah bisa diaplikasikan di masyarakat?

Jawaban :

- Litbang vaksin malaria di BATAN sudah sampai pada tersedianya stok bahan vaksin malaria (*Plasmodium falciparum*) yang siap uji klinis. Namun karena tidak adanya hewan untuk uji yang sesuai, maka kita belum bisa mencobanya di masyarakat.