

ANALISIS PERSENTASE LIMFOSIT DAN MONOSIT MENCIT BALB/C SETELAH DIPAPAR MEDAN ELEKTROMAGNETIK EXTREMELY LOW FREQUENCY 500 μ T DAN 1000 μ T

*Analysis of The Percentage of Lymphocytes and Monocytes in Balb/C Mice
After Exposed to An Extremely Low Frequency Electromagnetic Field of 500 μ T
and 1000 μ T*

Ayu Sulistiyowati^{1*}, Sudarti Sudarti¹, Firdha Kusuma Ayu Anggraeni¹

¹Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember

*Email: sudarti.fkip@unej.ac.id

ABSTRACT

Extremely Low Frequency (ELF) electromagnetic waves are generated by electrical devices and power systems (0 - 300 Hz). The rapid development of technology and the use of electronics cause adverse biological effects on humans. However, the biological effects of exposure to ELF electromagnetic fields are not fully clarified. The purpose of this study was to examine the effect of ELF electromagnetic field exposure on the percentage of lymphocytes and monocytes in Balb/C mice. This type of research was true experimental with a completely randomized design (CRD) design. Balb / C mice used were 18 male Balb / C mice with a body weight of 15 - 20 grams consisting of a control group, 500 μ T experimental group, and 1000 μ T experimental group. The treatment was given intermittently 3 hours/day for 30 days. Statistical analysis using One Way Anova with LSD (Least Significance Different) and Kruskal Wallis test. The results showed no significant difference in the average percentage of lymphocytes and monocytes of Balb/C mice between the control group, the 500 μ T experimental group and the 1000 μ T experimental group. Further research needs to be done on the effect of electromagnetic fields with greater intensity and longer exposure time on lymphocytes and monocytes.

Keywords: ELF, Lymphocytes, Monocytes

ABSTRAK

Gelombang elektromagnetik Extremely Low Frequency (ELF) dihasilkan oleh perangkat listrik dan sistem daya (0 – 300 Hz). Pesatnya perkembangan teknologi dan penggunaan elektronik menyebabkan efek biologis yang merugikan bagi manusia. Namun, efek biologis dari paparan medan elektromagnetik ELF adalah tidak sepenuhnya diklarifikasi. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji pengaruh paparan medan elektromagnetik ELF terhadap persentase limfosit dan monosit pada mencit Balb/C. Jenis penelitian adalah true experimental dengan desain Rancangan Acak Lengkap (RAL). Mencit Balb/C yang digunakan sebanyak 18 ekor mencit balb/C jantan dengan bobot tubuh 15 – 20 gram terdiri dari kelompok kontrol, kelompok eksperimen 500 μ T, dan kelompok eksperimen 1000 μ T. Perlakuan diberikan secara intermiten 3 jam/hari selama 30 hari. Analisis statistik menggunakan *One Way Anova* dengan LSD (*Least Significance Different*) dan uji Kruskal Wallis. Hasil penelitian menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan pada rata-rata persentase limfosit dan monosit mencit Balb/C antara kelompok kontrol, kelompok eksperimen 500 μ T dan kelompok eksperimen 1000 μ T. Perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai pengaruh medan elektromagnetik terhadap limfosit dan monosit dengan intensitas yang lebih besar dan waktu pemaparan yang lebih lama.

Kata kunci: ELF, Limfosit, Monosit

PENDAHULUAN

Paparan radiasi gelombang elektromagnetik di sekitar manusia tidak bisa dihindari. Manusia terus terpapar berbagai sumber radiasi elektromagnetik, termasuk radiasi medan elektromagnetik *Extremely Low Frequency* (ELF). Gelombang elektromagnetik ELF mempunyai frekuensi rendah antara 0 – 300 Hz.¹ Komponen dalam gelombang elektromagnetik terdiri dari medan listrik dan medan magnet. Karakteristik yang dimiliki oleh medan magnet dan medan listrik memenuhi standar yang berbeda. Medan magnet dapat menembus hampir semua materi, sementara medan listrik tidak memiliki kemampuan serupa. Medan magnet ELF yang dapat menembus berbagai jenis bahan menyebabkan terjadinya ionisasi, hal tersebut menjadikan medan magnet ELF sebagai radiasi non pengion.² Energi yang disalurkan oleh medan magnet ELF sangat minim, sehingga efisiensi energinya jauh lebih tinggi dibandingkan dengan proses termal.³

Medan magnet ELF berasal dari berbagai sumber seperti jaringan listrik, peralatan elektronik, dan peralatan medis. Nilai ambang batas radiasi ELF yang direkomendasikan yaitu medan listrik dan medan magnet sebesar 50 Hz dan 60 Hz. Intensitas medan listrik untuk khalayak umum sebesar 5.000 V/m, sedangkan untuk pekerja yang terpajan terus menerus adalah 10.000 V/m. Nilai ambang batas medan magnetik untuk khalayak umum adalah 100 μ T, sedangkan untuk pekerja yang terpajan terus menerus adalah 500 μ T.^{4,5}

Paparan gelombang elektromagnetik berpotensi terhadap membran sel yaitu peningkatan kalsium dan peningkatan Reactive Oxygen Species (ROS). Ion kalsium dapat terlepas dari simpanan dalam sel saat terpapar ELF, menyebabkan peningkatan konsentrasi kalsium di dalam sel. Jika paparan ELF-EMF meningkatkan konsentrasi Ca^{2+} di

sitosol, ini diharapkan akan mengubah fungsi biologis yang dikendalikan oleh Ca^{2+} .⁶ Reactive Oxygen Species (ROS) adalah radikal bebas yang dihasilkan akibat aktivasi enzim NADPH oksidase, oksidase xantin, lipoxygenase, atau siklooksigenase, dapat berfungsi sebagai pengirim kedua dan mengaktifkan kaskade sinyal. Secara spesifik, mitokondria adalah penyumbang utama dalam pembentukan ROS melalui sistem transportasi elektronnya. Peningkatan konsentrasi kalsium (Ca^{2+}) dalam sitoplasma memicu aktivasi rantai transportasi elektron di mitokondria dan menghasilkan ROS.⁷ ROS telah terlibat dalam leukosit (banyak aspek respons imun) terhadap patogen, sebagian besar dalam fungsi imun bawaan, seperti rusaknya pernapasan dan aktivasi peradangan.⁸

Leukosit merupakan jenis sel darah yang mempunyai inti atau dikenal sebagai sel darah putih. Leukosit memiliki granula yang spesifik (granulosit) yang berbentuk tetesan setengah cair dalam sitoplasmanya ketika hidup, serta memiliki variasi bentuk inti yang tidak memiliki granula, dan sitoplasma homogen dengan intinya berbentuk bulat atau berbentuk ginjal.⁹ Leukosit terbagi menjadi dua kelompok, yaitu granulosit dan agranulosit. Sel granulosit terdiri dari eosinofil, basofil, dan neutrofil, sedangkan sel agranulosit terdiri dari monosit dan limfosit.¹⁰ Pemeriksaan hitung jenis leukosit dilakukan untuk mengkaji efek biologis akibat paparan medan elektromagnetik ELF terutama pada limfosit dan monosit sebab limfosit memiliki fungsi utama dalam mengidentifikasi dan mengatasi ancaman terhadap tubuh¹¹, sedangkan monosit memiliki fungsi utama mempresentasikan dan memproses antigen.¹²

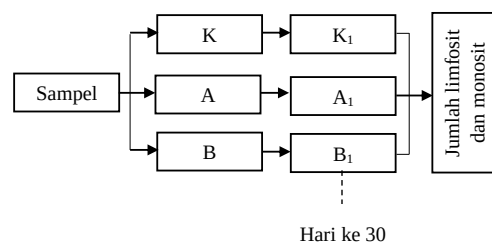
Penelitian terdahulu mengungkapkan bahwa gelombang elektromagnetik ELF dapat meningkatkan jumlah leukosit dengan kerapatan fluks magnet sebesar 10 μ T.

Peningkatan ini terjadi dalam jangka pendek (1 minggu) dalam kelompok paparan 24 jam/hari. Ini menyiratkan bahwa paparan radiasi ELF jangka pendek dapat menyebabkan perubahan kecil dalam regulasi stres, berpotensi mengakibatkan pergeseran subset leukosit yang berbeda.¹³ Paparan medan magnet ELF 100 μ T selama 12 minggu menyatakan tidak terdapat perbedaan signifikan terhadap jumlah sel darah putih antara kelompok kontrol dan eksperimen.¹⁴ Peneliti berbeda mengungkapkan bahwa efek radiasi medan elektromagnetik ELF pada intensitas 500 μ T selama 12 minggu tidak menunjukkan perbedaan signifikan terlihat antara kelompok kontrol dan perlakuan pada jumlah sel darah putih total pada tikus.¹⁵ Terdapat pula yang melaporkan bahwa terdapat peningkatan limfosit pada tikus wistar jantan yang dipapar 7 mT selama 24 jam, namun tidak terdapat perbedaan signifikan yang terjadi antara paparan ELF terhadap limfosit.¹⁶ Perbedaan hasil yang masih kontradiktif ini dibutuhkan penelitian lanjutan mengenai efek paparan ELF terhadap persentase limfosit dan monosit. Tujuan dari penelitian ini untuk mengkaji pengaruh radiasi medan elektromagnetik ELF terhadap persentase limfosit dan monosit pada mencit Balb/C secara intermiten 3 jam/hari selama 30 hari dengan intensitas 500 μ T dan 1000 μ T.

METODE

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium ELF, pemeliharaan dilakukan di Laboratorium Hewan Fakultas Kedokteran Gigi, pengukuran persentase limfosit dan monosit mencit Balb/C di Laboratorium Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember. Penelitian ini telah mendapatkan persetujuan oleh Komisi Etik Penelitian Kesehatan (KEPK) Fakultas Kedokteran Gigi Universitas Jember No.2253/UN25.8/KEPK/DL/2023.

Penelitian dilakukan selama 30 hari yakni pada bulan Oktober – November 2023. Jenis penelitian ini ialah penelitian eksperimental dengan desain Rancangan Acak Lengkap (RAL). Hewan coba yang digunakan adalah mencit Balb/C jantan sebanyak 18 ekor mencit balb/C jantan dengan bobot tubuh 15 – 20 gram terdiri dari 6 ekor kelompok kontrol, 6 ekor kelompok eksperimen 500 μ T, dan 6 ekor kelompok eksperimen 1000 μ T. Mencit Balb/C dipilih sebab memiliki kesamaan fisiologis dengan manusia, mudah didapatkan dan dipelihara. Pemilihan berjenis kelamin jantan dikarenakan tidak mengalami siklus estrus yang melibatkan hormon estrogen, berbeda dengan mencit betina. Di samping itu, stress yang dialami oleh mencit betina lebih tinggi daripada mencit jantan¹⁷. Desain penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Penelitian

Keterangan :

- K : Sampel kelompok Kontrol
- A : Sampel kelompok eksperimen 500 μ T
- B : Sampel kelompok eksperimen 1000 μ T
- K₁ : Pengambilan data sampel mencit kelompok kontrol hari ke -30.
- A₁ : Pengambilan data sampel mencit kelompok eksperimen intensitas 500 μ T pada hari ke -30.
- B₁ : Pengambilan data sampel mencit kelompok eksperimen intensitas 1000 μ T pada hari ke -30.

Proses Adaptasi

Proses adaptasi dilakukan selama 7 hari di laboratorium hewan dengan memilih mencit Balb/C yang sehat, berkelamin jantan, dan bobot tubuh 15-20 gram. Mencit balb/C berada dalam box. Pemberian makan dan minum

dengan takaran yang sama sebanyak satu kali sehari.

Proses Pemaparan

Proses pemaparan dilakukan selama 30 hari dengan interval waktu 3 jam/hari di laboratorium ELF Pendidikan Fisika Universitas Jember. Pemaparan dilakukan menggunakan alat CT (*Current Transformer*) dapat dilihat pada Gambar 2. CT diatur hingga 1600 A menghasilkan medan magnet sebesar 500 μT yang diukur menggunakan *EMF Tester*, sedangkan untuk pemaparan 1000 μT diatur hingga 3200 A.



Gambar 2. Proses Pemaparan

Metode Pengambilan Darah

Cara mengambil darah pada mencit Balb/C sebagai berikut : (a) Ekor mencit dipegang menggunakan tangan kanan, sementara kaki depannya mencengkeram kawat penutup kandangnya; (b) Tengkuik mencit dijepit menggunakan tangan kiri dengan ibu jari dan jari telunjuk; (c) Jepitan ekor dipindahkan dari tangan kanan ke tangan kiri, kemudian ditarik sedikit untuk menegangkan kulit bagian abdomennya; (d) Ekor mencit kemudian digunting sepanjang 0.2-2 cm dari pangkal ekor; (e) Darah yang mengalir ditampung menggunakan tabung darah dan dimiringkan dengan sudut 45°; (f) Darah siap digunakan¹⁸.

Metode Pembuatan Preparat Apusan Darah Tepi

Preparat apus darah tepi dibuat dengan darah ditetaskan pada objek kaca kemudian objek kaca lain

diletakkan dekat dengan tetesan darah membentuk sudut 45° dengan objek pertama. Objek glass kedua yang membentuk sudut 45° digeser berlawanan arah, sehingga darah tersebar merata ke seluruh permukaan objek glass pertama. Apusan darah diproses dengan difiksasi menggunakan metanol selama 5 menit. Selanjutnya, pewarnaan menggunakan pewarnaan Giemsa merck (20-30 menit) kemudian dibilas dengan air mengalir dan dibiarkan mengering¹⁸.

Metode Hitung Persentase Limfosit dan Monosit Darah

Sediaan apusan darah diletakkan di mikroskop olympus BX53 dengan lensa tambahan olympus DP22 yang terkoneksi langsung ke mikroskop dengan perbesaran 100 x yang telah diberi minyak imersi pada permukaan sediaan apus tersebut. Dilakukan hitung jumlah jenis leukosit mulai ke bawah ke kiri seterusnya sampai mendapatkan 100 sel leukosit, kemudian dari 100 sel leukosit dihitung jumlah limfosit dan monositnya. Setelah itu persentase monosit dan limfosit dari total 100 sel leukosit ditentukan dengan rumus berikut¹⁸.

$$\%_{\text{limfosit}} = \frac{\sum \text{limfosit}}{100} \times 100\%$$
$$\%_{\text{monosit}} = \frac{\sum \text{monosit}}{100} \times 100\%$$

Analisis Data

Pada penelitian ini, analisis data menggunakan perangkat lunak SPSS 23. Metode yang digunakan adalah *One Way Anova* dengan *LSD (Least Significance Different)* apabila data berdistribusi normal. Namun, Apabila data tidak berdistribusi normal, maka menggunakan uji *Kruskal Wallis*. Uji signifikansi yang digunakan adalah 5%.

HASIL

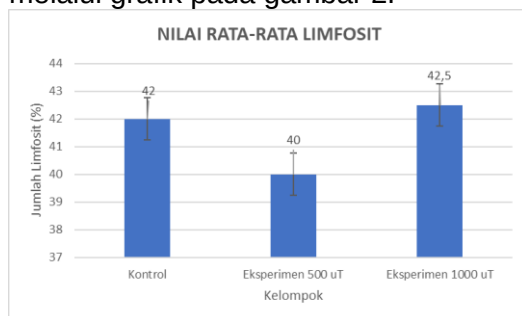
Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh paparan medan elektromagnetik ELF terhadap persentase limfosit dan monosit pada

mencit Balb/C secara intermiten 3 jam/hari selama 30 hari dengan intensitas 500 μ T dan 1000 μ T. Nilai rata-rata persentase jumlah limfosit dan monosit dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai Rata-Rata Limfosit dan Monosit

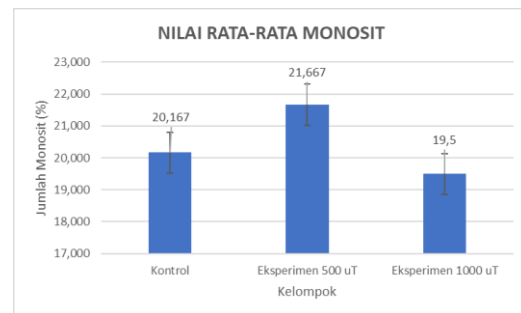
Kelompok	Variabel	
	Limfosit (%)	Monosit (%)
Kontrol	42	20,167
Eksperimen 500 μ T	40	21,667
Eksperimen 1000 μ T	42,5	19,5

Berdasarkan tabel 1 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan nilai rata-rata persentase jumlah limfosit dan monosit. Perbedaan nilai rata-rata persentase jumlah limfosit ditunjukkan melalui grafik pada gambar 2.



Gambar 2. Nilai Rata-Rata Limfosit

Berdasarkan Gambar 2 Kelompok eksperimen 500 μ T mengalami penurunan sebesar 2% daripada kelompok kontrol dan mengalami peningkatan 2,5% daripada kelompok eksperimen 1000 μ T. Perbedaan nilai rata-rata persentase jumlah Monosit ditunjukkan melalui grafik pada gambar 3.



Gambar 3. Nilai Rata-Rata Monosit

Berdasarkan gambar 3 Kelompok eksperimen 500 μ T mengalami peningkatan sebesar 1,5% daripada kelompok kontrol dan mengalami penurunan 2,167% daripada kelompok eksperimen 1000 μ T.

Data nilai rata-rata persentase jumlah limfosit dan monosit dianalisis menggunakan SPSS 23. Data diuji normalitas menggunakan *Kolmogorov Smirnov*. Data persentase jumlah monosit dengan *Asymp. Sig > 0,05* artinya data berdistribusi normal maka data dianalisis dengan uji statistik parametrik *One Way Anova* menggunakan *LSD (Least Significance Different)*, sedangkan data persentase jumlah limfosit dengan *Asymp. Sig < 0,05* artinya data tidak berdistribusi normal maka data dianalisis dengan uji statistik non parametrik *Kruskal Wallis*. Data hasil uji jumlah limfosit dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Kruskal Wallis Jumlah Limfosit

Test Statistics ^{a,b}	
Hasil Limfosit	
Chi-Square	.091
df	2
Asymp. Sig.	.956

Berdasarkan Tabel 2 menunjukkan nilai *Asymp. Sig > 0,05* dapat dinyatakan bahwa tidak ada perbedaan signifikan persentase limfosit antara kontrol, eksperimen 500 μ T, dan 1000 μ T. Data hasil uji jumlah monosit dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji One Way Anova Jumlah Monosit

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	14.778	2	7.389	.192	.827
Within Groups	577.667	15	38.511		
Total	592.444	17			

Berdasarkan tabel 3 menunjukkan nilai *Asymp. Sig* sebesar $0,827 > 0,05$, artinya tidak terdapat perbedaan signifikan persentase monosit antara kontrol, eksperimen 500 μT dan 1000 μT .

Tahap selanjutnya adalah analisis LSD (*Least Significance Different*). Kelompok kontrol dengan nilai *Asymp. Sig.* $> 0,05$ pada kelompok eksperimen 500 μT sebesar 0,681 dan kelompok eksperimen 1000 μT sebesar 0,855. Kelompok eksperimen 500 μT dengan nilai *Asymp. Sig.* $> 0,05$ pada kelompok eksperimen 1000 μT sebesar 0,554, artinya tidak ada perbedaan signifikan persentase jumlah monosit antara kelompok kontrol, kelompok eksperimen 500 μT dan 1000 μT .

PEMBAHASAN

Berdasarkan tabel 1 menunjukkan bahwa persentase limfosit berada dalam kisaran 40 – 42,5%. Hasil persentase tersebut berada dibawah kisaran normal persentase limfosit. Jumlah normal limfosit pada mencit berada dalam kisaran 55 - 85 %¹⁹. Terdapat penurunan pada kelompok 500 μT dan peningkatan pada kelompok 1000 μT daripada kelompok kontrol hari ke-30. Hal ini terjadi akibat pada intensitas rendah memungkinkan bisa memulihkan diri dengan sangat cepat, namun apabila intensitas tinggi, sel kemungkinan tidak dapat memulihkan dirinya. Oleh karena itu, efek radiasi ELF terhadap tubuh mencit Balb/C tergantung tinggi rendahnya intensitas yang diberikan.²⁰ Kenaikan jumlah limfosit mungkin terjadi saat tubuh mengalami infeksi yang disebabkan oleh mikroorganisme intraseluler, virus, atau penyakit kronis yang berlangsung

dalam waktu lama. Sebaliknya, penurunan jumlah limfosit dapat melemahkan sistem kekebalan tubuh dan lebih rentan terhadap infeksi. Radiasi ELF mengganggu sistem pembentukan sel darah karena dapat menyebabkan kerusakan pada DNA sel-sel darah. Kerusakan secara langsung yang menyebabkan penurunan jumlah limfosit.²¹

Radiasi ELF membentuk radikal bebas. Ketika radiasi berinteraksi dengan molekul air, terjadi pemecahan molekul air dan terbentuknya radikal bebas H^* , OH^* , dan H_2O_2 yang juga dikenal sebagai Reactive Oxygen Species (ROS). Molekul-molekul dalam tubuh yang menjadi sasaran radikal bebas termasuk DNA, lipid, dan protein. Tingkat ROS yang tinggi menyebabkan ketidakseimbangan antara radikal bebas dan antioksidan dalam tubuh, yang dikenal sebagai stres oksidatif yang bisa merusak dan menghambat proliferasi sel limfosit. Stres juga mengakibatkan penurunan imunitas, penurunan bobot karkas, kegagalan dalam reproduksi, dan kematian hewan. Secara fisiologi, peningkatan jumlah limfosit disebabkan oleh aktivitas berlebihan yang mengakibatkan peningkatan laju aliran darah di dalam pembuluh darah.²²

Berdasarkan tabel 2 menunjukkan tidak ada perbedaan signifikan persentase jumlah limfosit antara kontrol, eksperimen 500 μT , dan eksperimen 1000 μT dikarenakan sel termasuk limfosit mempunyai kemampuan untuk memulihkan diri dari kerusakan sel serta merespons secara spesifik terhadap molekul asing dan memiliki kemampuan mengenali molekul tersebut (fungsi memori) untuk menghadapi serangan selanjutnya.

Sistem imun bawaan dan imun adaptif melawan dan menghambat perkembangan organisme yang memasuki serta berkembang biak dalam tubuh.¹¹ Hal tersebut yang menyebabkan tidak terjadi perubahan jumlah limfosit akibat paparan medan elektromagnetik ELF antara kelompok kontrol dan kelompok perlakuan. Disamping itu, respon terhadap radiasi ELF dapat bervariasi antar individu. Kondisi kesehatan awal dan faktor genetik dapat mempengaruhi mencit Balb/C merespon adanya radiasi ELF. Radiasi ELF memiliki tingkat energi rendah.¹ Hal tersebut mungkin tidak menyebabkan kerusakan langsung pada sel limfosit pada mencit Balb/C.

Berdasarkan tabel 1 menunjukkan bahwa persentase monosit berada dalam kisaran 19,5 – 21.667 %. Hasil persentase tersebut berada diatas kisaran normal persentase monosit. Jumlah normal monosit pada mencit berada dalam kisaran 1 - 12 %.¹⁹ Jumlah monosit diatas nilai normal mengindikasikan mencit Balb/C mengalami monositosis. Peningkatan monosit pada eksperimen 500 μ T diduga terjadi karena peningkatan konsumsi oksigen saat stres yang mengakibatkan produksi radikal bebas meningkat dan berpotensi merusak sel. Teori lain mengindikasikan bahwa peningkatan monosit merupakan respons terhadap stres yang dapat mengakibatkan perubahan dalam interaksi monosit intraselular, sedangkan penurunan jumlah monosit pada eksperimen 1000 μ T diakibatkan bahwa radiasi ELF yang merupakan senyawa antioksidan eksogen dapat mengurangi radikal bebas yang bisa merusak sel. Radikal bebas direndam oleh pertahanan pertama yaitu antioksidan endogen, namun dalam keadaan stress oksidatif ketika jumlah radikal bebas yang dihasilkan melebihi kemampuan sistem oksidan dalam menetralkannya. Oleh karena itu, kehadiran antioksidan eksogen menjadi penting sebagai bentuk pertahanan

kedua untuk mengatasi tingginya tingkat radikal bebas dalam tubuh.²²

Berdasarkan tabel 3 menunjukkan bahwa sel monosit tidak terlihat perubahan signifikan dalam persentase jumlahnya. Hal ini menunjukkan bahwa sel monosit mungkin memiliki kemampuan fagositosis yang tetap stabil sebagai respons terhadap sistem kekebalan tubuh, dan hal ini secara langsung berperan dalam proses perbaikan jaringan yang rusak. Monosit akan berubah menjadi makrofag di dalam jaringan sehingga dapat memfagositosis benda-benda asing yang masuk dalam tubuh.¹² Fungsi fagositosis ini yang menyebabkan sel monosit dalam tubuh mencit Balb/C tidak mengalami perubahan.

SIMPULAN

Tidak terdapat perbedaan signifikan pada persentase limfosit dan monosit mencit Balb/C antara kelompok kontrol, kelompok eksperimen 500 μ T dan kelompok eksperimen 1000 μ T setelah dipapar medan elektromagnetik Extremely Low Frequency (ELF) selama 30 hari. Saran untuk penelitian selanjutnya memerlukan pendalaman desain pre dan post-test atau dengan sampel yang mengalami keadaan patologi dengan intensitas yang lebih tinggi dan jangka waktu yang lebih lama, sehingga mendapatkan hasil yang akurat dan berpotensi pada perubahan jumlah limfosit dan monosit. Serta memperhatikan juga ambang batas WHO.

DAFTAR RUJUKAN

1. Nur SUK, Sudarti, Subiki. Pengaruh Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) Terhadap Derajat Keasaman (pH) Buah Tomat. *ORBITA J Kajian, Inov dan Apl Pendidik Fis.* 2022;8(1):73. doi:10.31764/orbita.v8i1.8395
2. Kanza NRF, Sudarti S, Maryani M. Pengaruh Paparan Medan Magnet

- Extremely Low Frequency (ELF) Terhadap pH dan Daya Hantar Listrik Pada Proses Fermentasi Basah Kopi Liberica (*Coffea liberica*) dengan Penambahan α -Amilase. *ORBITA J Kajian, Inov dan Apl Pendidik Fis.* 2020;6(2):315. doi:10.31764/orbita.v6i2.3294
3. Sudarti S, Permatasari E, Ningtyias FW, Mina NM, Laksmiari K. Analysis of Vitamin C Resistance in Red Grapes (*Vitis vinifera*) After Exposure to Extremely Low Frequency (ELF) Magnetic Fields Intensity 700 uT and 900 uT. *J Penelit Pendidik IPA.* 2022;8(2):620-626. doi:10.29303/jppipa.v8i2.1386
4. World Health Organization. *Environmental Health Criteria 238: Extremely Low Frequency Fields.* WHO; 2007. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241572385>
5. International Labour Organization. VLF and ELF Electric and Magnetic Fields. *Encyclopaedia of Occupational Health and Safety.* Published 2011. https://www-iloencyclopaedia-org.translate.goog/part-vi-16255/radiation-non-ionizing/item/658-vlf-and-elf-electric-and-magnetic-fields?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=id&_x_tr_hl=id&_x_tr_pto=tc
6. Wei J, Sun J, Xu H, Shi L, Sun L, Zhang J. Effects of extremely low frequency electromagnetic fields on intracellular calcium transients in cardiomyocytes. *Electromagn Biol Med.* 2015;34(1):77-84. doi:10.3109/15368378.2014.881744
7. Dayem AA, Hossain MK, Lee S Bin, et al. The Role of Reactive Oxygen Species (ROS) in the Biological Activities of Metallic Nanoparticles. *Int J Mol Sci.* 2017;18(1):1-21. doi:10.3390/ijms18010120
8. Bassoy EY, Walch M, Martinvalet D. Reactive Oxygen Species: Do They Play a Role in Adaptive Immunity? *Front Immunol.* 2021;12:755856. doi:10.3389/fimmu.2021.755856
9. Hutagalung MS. *Panduan Lengkap Stroke: Mencegah, Mengobati Dan Menyembuhkan.* Nusamedia; 2019.
10. Khotimah C, Pramytha E, M SP, K S, Y LR. Pengaruh Pemberian Propolis terhadap Jumlah dan Hitung Jenis Leukosit Darah Mencit (*Mus musculus*) Jantan. *J Basic Med Vet.* 2015;4(1):28-34.
11. Prakoeswa FR. Peranan Sel Limfosit Dalam Imunologi: Artikel Review. *J Sains dan Kesehat.* 2020;2(4):525-537. doi:10.25026/jsk.v2i4.212
12. Olingy CE, Dinh HQ, Hedrick CC. Monocyte heterogeneity and functions in cancer. *J Leukoc Biol.* 2019;106(2):309-322. doi:10.1002/JLB.4RI0818-311R
13. Kleijn S de, Ferwerda G, Wiese M, et al. A short-term extremely low frequency electromagnetic field exposure increases circulating leukocyte numbers and affects HPA-axis signaling in mice. *Bioelectromagnetics.* 2016;37(7):433-443. doi:10.1002/bem.21998
14. Lai J, Zhang Y, Zhang J, et al. Effects of 100- μ T extremely low frequency electromagnetic fields exposure on hematograms and blood chemistry in rats. *J Radiat Res.* 2016;57(1):16-24. doi:10.1093/jrr/rrv059
15. Luo X, Jia S, Li R, Gao P, Zhang Y. Occupational exposure to 50 Hz magnetic fields does not alter responses of inflammatory genes and activation of splenic lymphocytes in mice. *Int J Occup Med Environ Health.* 2016;29(2):277-291. doi:10.13075/ijomeh.1896.00519
16. Wyszowska J, Jędrzejewski T, Piotrowski J, Stankiewicz M, Kozak W. Evaluation of the influence of in vivo exposure to extremely low-frequency magnetic fields on the plasma levels of pro-inflammatory cytokines in rats. *Int J Radiat Biol.* 2018;94(10):909-917. doi:10.1080/09553002.2018.1503428

17. Masaenah E, Inawati I, Annisa FR. Aktivitas Ekstrak Etanol Buah Belimbing Wuluh (*Averrhoa bilimbi* L) Terhadap Penurunan Kadar Glukosa Darah Mencit Jantan (*Mus musculus*). *J Farmamedika (Pharmamedica Journal)*. 2019;4(2):37-47. doi:10.47219/ath.v4i2.79
18. Nugroho RA. *Mengenal Mencit Sebagai Hewan Laboratorium*. Mulawarman University Press; 2018.
19. Smith JB, Mangkoewidjojo. *Pemeliharaan, Pembiakan, Dan Penggunaan Hewan Percobaan Di Daerah Tropis*. Universitas Indonesia; 1988.
20. Wulandari Y, Hartoyo P, Anita F, Purwatiningsih. Analisis Jumlah Kadar Hemoglobin Dan Sel Darah Putih (Leukosit) Pada Mencit (*Mus Musculus*) Sebelum Dan Sesudah Radiasi Gamma Co-60 Dengan Berbagai Variasi Dosis. *J Ilm GIGA*. 2014;17(1):9-18.
21. Ariana INT, Oka AA, Suranjaya IG, Berata IK. Peningkatan Limfosit, Monosit, dan Basofil pada Sapi Bali yang Digembalakan di Tempat Pembuangan Akhir Sampah Kota Denpasar. *J Vet*. 2018;19(1):109. doi:10.19087/jveteriner.2018.19.1.109
22. Kawiadji AA, Aspriyanto D, Setyawardhana RHD. Dentin Mencit Jantan (*Mus Musculus*) Yang Dipapar Sinar-X Radiografi. *J Kedokt Gigi*. 2022;VI(1):19-23.