

Pengaruh Radiasi Medan Elektromagnetik ELF (500 μT) Terhadap Eritrosit Dan Leukosit Pada Mencit Balb/C

Saidah Intan Kurnia^{(1,a)*}, Sudarti^(1,b) Nila Mutia Dewi^(1,c)

⁽¹⁾Prodi Pendidikan Fisika, Universitas Jember, Indonesia, 68121

Email : ^(a*)saidahintank@gmail.com, ^(b)sudarti.fkip@unej.ac.id ^(c)nilamutia@unej.ac.id

Disubmisi: 9 September 2025, Direvisi: 10 November 2025, Diterima: 3 Januari 2026

Abstract.

Background: Advances in technology today cause the impact of electromagnetic exposure that cannot be separated in everyday life, one of which comes from various sources around us that can cause adverse biological effects for humans.

Aims: The purpose of this on the intensity and duration of exposure to ELF electromagnetic fields.

Methods: The type of research used was true experimental with a pretest-posttest control group design. The samples used were 28 Balb/C mice consisting of pre-test and post-test groups. The treatment was given intermittently for 15 minutes and 30 minutes 2 times a day for 5 days. Statistical analysis using One Way Anova and Kruskal Wallis test.

Results: The results of the study on erythrocyte proliferation obtained a significance value of 0.540 and >0.05 means that there is no significant difference in erythrocyte proliferation of Balb/C mice. While in leukocytes the results obtained a significance value of 0.013 and <0.05 means that there is a significant difference in leukocyte proliferation of Balb/C mice.

Conclusion: From the results of this study it is necessary to conduct further research on the effect of erythrocyte and leukocyte proliferation with greater intensity and longer exposure time.

Keywords: ELF, Radiation, Erythrocyte, Leukocyte, Mice.

Abstrak.

Latar Belakang: Kemajuan teknologi saat ini menimbulkan dampak paparan elektromagnetik yang menjadi bagian tak terpisahkan dari keseharian, salah satunya berasal dari berbagai sumber yang ada di sekitar kita yang dapat menyebabkan efek biologis yang merugikan bagi manusia.

Tujuan: Tujuan penelitian ini adalah mengkaji perbedaan proliferasi eritrosit dan leukosit berdasarkan intensitas dan lama paparan medan elektromagnetik ELF.

Metode: Jenis penelitian yang digunakan yaitu *true experimental* dengan desain penelitian *pretest-posttest control group design*. Sampel yang digunakan sebanyak 28 ekor mencit Balb/C terdiri dari kelompok *pre-test* dan *post-test*. Perlakuan diberikan secara intermiten 15 menit dan 30 menit, 2 kali sehari selama 5 hari. Analisis statistik menggunakan *One Way ANOVA* dan uji Kruskal-Wallis.

Hasil: Hasil penelitian pada proliferasi eritrosit didapatkan nilai signifikansi 0,540 dan $>0,05$ artinya tidak terdapat perbedaan yang signifikan proliferasi eritrosit mencit Balb/C. Sedangkan pada leukosit didapatkan hasil nilai signifikansi 0,013 dan $<0,05$ artinya terdapat perbedaan yang signifikan proliferasi leukosit mencit Balb/C.

Kesimpulan: Dari hasil penelitian tersebut perlu dilakukan penelitian lanjutan mengenai pengaruh proliferasi eritrosit dan leukosit dengan intensitas lebih besar dan waktu pemaparan yang lebih lama.

Kata kunci: ELF, Radiasi, Eritrosit, Leukosit, Mencit.

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi saat ini menimbulkan dampak paparan elektromagnetik yang selalu menjadi bagian aktivitas sehari-hari [1]. Gelombang elektromagnetik berasal dari berbagai sumber yang berada disekitar kita termasuk peralatan elektronik di dalam rumah, di kantor, maupun dari jaringan transmisi listrik di lingkungan masyarakat. Kombinasi medan listrik dan medan magnet yang beresilasi sert merambat melewati ruang dan membawa energi dikenal sebagai radiasi elektromagnetik [2]. Salah satu jenis radiasi elektromagnetik yang mendapat perhatian khusus yaitu *Extremely Low Frequency* (ELF). Gelombang elektromagnetik ELF merupakan bagian dari spektrum elektromagnetik yang mempunyai frekuensi rendah dalam rentang 0 – 300 Hz [3]. Medan magnet ELF diberbagai sektor, khususnya di bidang kesehatan sebagai salah satu contohnya untuk terapi penyakit dan menonaktifkan bakteri [4]. Medan elektromagnetik ELF mempunyai beberapa dampak potensial, termasuk terhadap kesehatan seperti terjadinya penyakit yang tidak teridentifikasi, perubahan komposisi darah, perubahan genetik dan pertumbuhan sel kanker. Dalam beberapa tahun terakhir, medan elektromagnetik dengan frekuensi berbeda dan intensitas tinggi telah dianggap sebagai faktor signifikan dalam lingkungan [5]. Medan magnet ELF disebut ELF EMF, mempunyai dampak yang lebih besar terhadap sistem biologis dibandingkan komponen medan listrik [6]. Medan magnet mempunyai kemampuan menembus zat biologis yang mengandung ion atau muatan, sehingga merubah potensial membran sel, oleh karena itu akan berpengaruh pada mekanisme biofisik dalam sel [7]. Efek biologis dari medan magnet *extremely low frequency* (ELF) dan

dampaknya pada kesehatan manusia masih menjadi perdebatan karena dampak pasti dari paparan tersebut masih belum jelas [8]. Teori utama mengenai efek biologis medan magnet didasarkan pada efek permeabilitas saluran ion dalam membran. Oleh karena itu, kondisi ini menghambat pertumbuhan sel dan menyebabkan perubahan biologis organisme [9].

Menurut hasil penelitian Hanafy *et al.*, (2021) paparan radiasi elektromagnetik ELF dengan intensitas 2 mT beresiko memperburuk kualitas fungsi fisiologis sel darah merah [10]. Dalam penelitian alkayyali *et al.*, (2021) menyatakan bahwa paparan radiasi elektromagnetik ELF dengan intensitas 0.5 mT selama 3 bulan mengakibatkan insufisiensi hormon tiroid yang dapat menghambat hormon pembentukan eritrosit [11]. Dari beberapa hasil penelitian mengenai medan elektromagnetik ELF tidak hanya menghasilkan dampak negatif, akan tetapi juga menghasilkan dampak positif. Dalam penelitian Elmas *et al.*, (2021) menyatakan bahwa paparan radiasi elektromagnetik ELF dengan intensitas 0.3 mT selama 35 hari dapat memperlambat peningkatan fragilitas osmotik eritrosit sehingga berpotensi memperpanjang masa hidup sel darah merah [12]. Berdasarkan penelitian tersebut radiasi medan elektromagnetik ELF berpengaruh terhadap sel darah. Sel darah terbagi menjadi 2 diantaranya eritrosit dan leukosit. Eritrosit merupakan kepingan darah yang diproduksi oleh sumsum tulang melalui proses erythropoiesis [13]. Sedangkan leukosit memiliki pengertian yaitu sel-sel yang terdapat dalam darah dan berperan utama dalam sistem kekebalan tubuh dan mengandung sedikit hemoglobin [14].

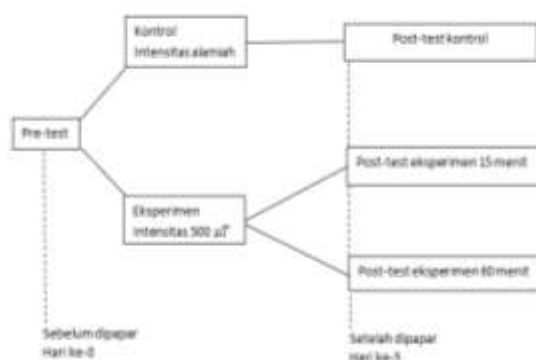
Berdasarkan pembahasan di atas, menyatakan bahwa paparan medan magnet ELF menggunakan intensitas tinggi pada jangka waktu lama mengakibatkan dampak

negatif terhadap kesehatan, sedangkan paparan intermiten dalam jangka pendek berdampak positif. Penelitian ini bertujuan mengkaji paparan intermiten dalam jangka pendek 5 hari selama 15 menit dan 60 menit 2 kali sehari dengan intensitas 500 μT , diharapkan dapat memberikan dampak positif bagi kesehatan terutama pada sel darah.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium ELF, pemeliharaan dilakukan di Laboratorium hewan Fakultas Kedokteran Gigi, pengukuran proliferasi eritrosit dan leukosit mencit Balb/C di Laboratorium Pendidikan Biologi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan.

Penelitian dilaksanakan selama 5 hari dengan jenis penelitian *true experimental* dengan desain penelitian *pretest-posttest control grup* desain. Desain penelitian ini digunakan mengkaji pengaruh dari beberapa perlakuan [15]. Sampel yang digunakan sebanyak 27 ekor mencit Balb/C jantan yang terdiri dari 2 kelompok yaitu *pre-test* dan *post-test*. Desain penelitian ditunjukkan pada (**Gambar 1**).



Gambar 1. Desain Penelitian

Adaptasi dilakukan dalam kurun waktu 7 hari di Laboratorium hewan. Sedangkan proses pemaparan dilakukan selama 5 hari dengan waktu paparan 15 menit dan 30 menit 2 kali sehari. Alat CT (*current*

Transformer) digunakan untuk pemaparan seperti (**Gambar 2**).



Gambar 2. Proses Pemaparan

Berikut adalah prosedur pengambilan darah: (a) Langkah pertama mencit di anastesi sebelum dibedah untuk menghindari rasa sakit dan stres yang berlebihan; (b) Letakkan mencit dalam posisi terlentang di permukaan datar serta pastikan dada terbuka dan pernapasan masih teratur jika mencit dalam keadaan anastesi; (c) Raba detak jantung mencit menggunakan jari telunjuk (biasanya sedikit ke kiri dari garis tengah dada); jarum ditusukkan dengan sudut 30-45° terhadap panjang badan mencit atau melewati bawah tulang rawan xiphoidea, dengan sudut kecil; (d) Jika jarum telah bergerak-gerak oleh jantung, jarum ditusukkan lebih dalam dan darah dihisap pelan-pelan (5 ml dalam 20-60 detik); (e) Darah yang diambil ditetaskan ke kaca objek atau ditampung dengan tabung darah; (f) Darah siap digunakan.

Berikut adalah prosedur pembuatan apusan darah: darah diambil dan kemudian diletakkan di atas kaca preparat lalu ditarik secara rata ke ujung preparat untuk membentuk apusan yang tipis. Setelah preparat apusan darah mengering, langkah selanjutnya menetapkan preparat dengan cara meneteskan methanol secara merata di atasnya dengan menggunakan pipet tetes hingga seluruh permukaan preparat terbasahi, kemudian membiarkan methanol menguap dan mengering. Preparat kemudian diwarnai dengan menggunakan pewarna giemsa dan dibiarkan selama 15-30 menit.

Setelah itu, preparat dibilas dengan air mengalir dan keringkan.

Pada penelitian ini analisis data menggunakan perangkat lunak SPSS 27. Metode yang digunakan yaitu *One Way Anova* apabila data berdistribusi normal, namun apabila data tidak berdistribusi normal maka menggunakan uji *Kruskal Wallis*. Uji signifikansi yang digunakan 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk meneliti efek medan elektromagnetik ELF 500 μ T terhadap proliferasi eritrosit dan leukosit. Nilai rata-rata proliferasi eritrosit disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai rata-rata Proliferasi eritrosit

Kelompok	Rata-rata Proliferasi Eritrosit Mencit Balb/C ($\times 10^6/\mu$ L)	
	<i>Pre-test</i>	<i>Post-test</i>
Kontrol	8,4929	8,1929
Eksperimen 500 μ T (15 menit)	8,4929	6,7257
Eksperimen 500 μ T (60 menit)	8,4929	7,1843

Tabel 1 diatas Menyatakan bahwa terdapat perbedaan nilai rata-rata proliferasi eritrosit mencit Balb/C. Kelompok kontrol memperoleh rata-rata proliferasi eritrosit pada *pre-test* sebesar $8,4929 \times 10^6/\mu$ L dan *post-test* sebesar $8,1929 \times 10^6/\mu$ L, rata-rata proliferasi eritrosit kelompok eksperimen dengan intensitas 500 μ T selama 15 menit pada *pre-test* sebesar $8,4929 \times 10^6/\mu$ L dan *post-test* sebesar $6,7257 \times 10^6/\mu$ L sedangkan rata-rata proliferasi eritrosit kelompok eksperimen dengan intensitas 500 μ T selama 60 menit pada *pre-test* sebesar $8,4929 \times 10^6/\mu$ L dan *post-test* sebesar $7,1843 \times 10^6/\mu$ L.

Hasil uji distribusi normal menggunakan uji *Shapiro-Wilk* menunjukkan bawa nilai signifikansinya

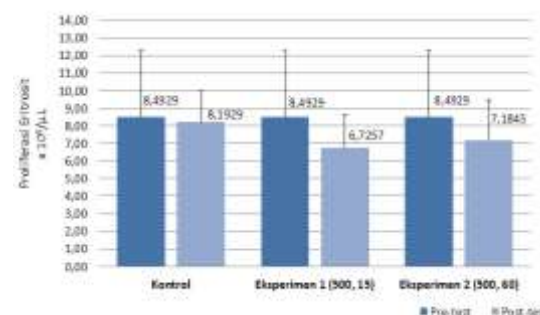
$>0,05$ artinya data berdistribusi normal. Selanjutnya untuk menguji perbedaan proliferasi eritrosit antar kelompok penelitian dilakukan analisis *One Way Anova*, dan hasilnya disajikan dalam Tabel 2 berikut ini

Tabel 2. Hasil Uji *One Way Anova* Proliferasi Eritrosit

ANOVA					
Proliferasi_eritrosit					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	14.534	3	4.845	.737	.540
Within Groups	157.755	24	6.573		
Total	172.289	27			

Berdasarkan Tabel di atas menggambarkan bahwa nilai signifikansi proliferasi eritrosit sebesar $0,540 > 0,05$ maka hipotesis nol (H_0) diterima dan hipotesis alternatif (H_a) ditolak artinya berpengaruh tetapi tidak terdapat perbedaan yang signifikan hasil proliferasi eritrosit mencit Balb/C antar setiap kelompok.

Perbedaan proliferasi eritrosit antar kelompok penelitian tampak lebih jelas disajikan dalam (**Gambar 3**) grafik sebagai berikut.



Gambar 3. Rata-rata Nilai Eritrosit

Gambar 3 grafik diatas membuktikan bahwa grafik nilai rata-rata

proliferasi eritrosit mencit Balb/C pada kelompok kontrol, eksperimen dengan intensitas 500 μT selama 15 menit dan eksperimen dengan intensitas 500 μT selama 60 menit mengalami penurunan dan peningkatan. Kelompok eksperimen dengan intensitas 500 μT selama 15 menit terhadap kelompok kontrol pada nilai *post-test* mengalami penurunan dengan selisih $1,4672 \times 10^6/\mu\text{L}$. Sedangkan kelompok eksperimen dengan intensitas 500 μT selama 60 menit terhadap kelompok kontrol pada nilai *post-test* mengalami penurunan dengan selisih sebesar $1,0086 \times 10^6/\mu\text{L}$. Kelompok eksperimen dengan intensitas 500 μT selama 15 menit terhadap kelompok eksperimen dengan intensitas 500 μT selama 60 menit mengalami peningkatan pada nilai *post-test* sebesar $0,4586 \times 10^6/\mu\text{L}$.

Hasil penelitian ini membuktikan bahwa paparan medan elektromagnetik ELF dengan intensitas 500 μT secara intermiten selama 15 dan 60 menit, 2 kali sehari berpengaruh tetapi tidak terdapat perbedaan signifikan. Selanjutnya nilai rata-rata proliferasi leukosit mencit Balb/C dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 3. Nilai Rata-rata Proliferasi Leukosit

Kelompok	Rata-rata Proliferasi Leukosit Mencit Balb/C ($\times 10^6/\mu\text{L}$)	
	<i>Pre-test</i>	<i>Post-test</i>
Kontrol	0,7000	2,3571
Eksperimen 500 μT (15 menit)	0,7000	2,0071
Eksperimen 500 μT (60 menit)	0,7000	2,7071

Berdasarkan Tabel 3. Menyatakan bahwa terdapat perbedaan nilai rata-rata proliferasi leukosit mencit Balb/C. Kelompok kontrol memperoleh rata-rata proliferasi leukosit pada *pre-test* sebesar $0,7000 \times 10^6/\mu\text{L}$ dan *post-test* sebesar $2,3571 \times 10^6/\mu\text{L}$, rata-rata proliferasi leukosit kelompok eksperimen dengan intensitas 500 μT selama 15 menit pada *pre-test* sebesar $0,7000 \times 10^6/\mu\text{L}$ dan *post-test* sebesar $2,0071 \times 10^6/\mu\text{L}$ sedangkan

rata-rata proliferasi leukosit kelompok eksperimen dengan intensitas 500 μT selama 60 menit pada *pre-test* sebesar $0,7000 \times 10^6/\mu\text{L}$ dan *post-test* sebesar $2,7071 \times 10^6/\mu\text{L}$.

Hasil uji distribusi normal menggunakan uji *Shapiro-Wilk* menunjukkan bahwa nilai signifikansinya $<0,05$ artinya data tidak berdistribusi normal. Selanjutnya untuk menguji perbedaan proliferasi eritrosit antar kelompok penelitian dilakukan uji *Kruskal Wallis*, dan hasilnya disajikan dalam Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Hasil Uji *Kruskal Wallis* Proliferasi Eritrosit

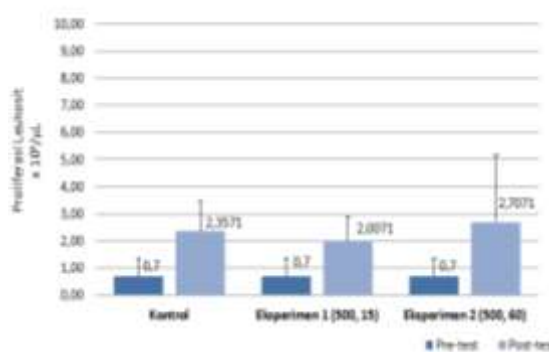
Test Statistics ^{a,b}	
Proliferasi leukosit	
Kruskal-Wallis H	10.779
df	3
Asymp. Sig.	.013

Tabel di atas menggambarkan bahwa nilai rata-rata proliferasi leukosit memperoleh nilai signifikan sebesar 0,013. Nilai Asmp. Sig menunjukkan $<0,05$, artinya bahwa maka hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_a) diterima sehingga dapat dikatakan terdapat perbedaan yang signifikan hasil proliferasi leukosit mencit Balb/C antara kelompok.

Selanjutnya dilakukan uji *Mann Whitney* untuk melihat kelompok mana yang berbeda. Hasil uji *Mann Whitney* menunjukkan nilai Asym. Sig $<0,05$ pada kelompok *pre-test* dengan kelompok kontrol dan kelompok *pre-test* dengan kelompok eksperimen (intensitas 500 μT selama 15 menit), yang artinya hipotesis nol (H_0) ditolak dan hipotesis alternatif (H_a) diterima sehingga terdapat perbedaan yang signifikan. Selanjutnya nilai Asym. Sig $>0,05$ pada kelompok

pre-test dengan kelompok eksperimen (intensitas 500 μ T selama 60 menit), kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (intensitas 500 μ T selama 15 menit), kelompok kontrol dengan kelompok eksperimen (intensitas 500 μ T selama 60 menit) dan kelompok (intensitas 500 μ T selama 15 menit) dengan kelompok eksperimen (intensitas 500 μ T selama 60 menit), yang artinya hipotesis nol (H_0) diterima dan hipotesis alternatif (H_a) ditolak sehingga tidak terdapat perbedaan yang signifikan.

Perbedaan proliferasi eritrosit antar kelompok penelitian tampak lebih jelas disajikan pada gambar grafik sebagai berikut.



Gambar 4. Grafik Nilai Rata-rata Leukosit

Grafik di atas menyatakan nilai rata-rata proliferasi eritrosit mencit Balb/C pada kelompok kontrol, eksperimen dengan intensitas 500 μ T selama 15 menit dan eksperimen dengan intensitas 500 μ T selama 60 menit terdapat penurunan dan peningkatan. Kelompok eksperimen dengan intensitas 500 μ T selama 15 menit terhadap kelompok kontrol pada nilai *post-test* mengalami penurunan dengan selisih $0,35 \times 10^6/\mu$ L. Sedangkan kelompok eksperimen dengan intensitas 500 μ T selama 60 menit terhadap kelompok kontrol pada nilai *post-test* mengalami peningkatan sebesar $0,35 \times 10^6/\mu$ L.

Hasil penelitian ini membuktikan bahwa paparan medan elektromagnetik ELF dengan intensitas 500 μ T secara intermiten selama 15 dan 60 menit, 2 kali sehari berpengaruh dan terdapat perbedaan yang signifikan.

Selanjutnya untuk mengetahui pengaruh medan listrik dan medan magnet terhadap proliferasi eritrosit dilakukan uji Regresi Linier Berganda dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2$$

dimana Y = proliferasi eritrosit, X_1 = medan magnet, X_2 = medan listrik.

Nilai Regresi Linier Berganda didapatkan dari Tabel 5 dan Tabel 6 berikut ini.

Tabel 5. Hasil Uji Regresi Linier Berganda Proliferasi Eritrosit

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	8.912	1.365		6.527	<.001
	magnet	.015	.037	1.499	.404	.690
	listrik	-.377	.787	-1.781	-.479	.636

a. Dependent Variable: Proliferasi_eritrosit

Tabel 6. Hasil Uji Regresi Linier Berganda Proliferasi Leukosit

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	2.824	.797		3.544	.002
	magnet	.043	.021	6.902	1.983	.058
	listrik	-.875	.459	-6.625	-1.904	.069

a. Dependent Variable: Proliferasi_leukosit

$$Y = 8.912 + 0.015 X_1 - 0.377 X_2 \quad (1)$$

Persamaan 1 dimana Y = proliferasi eritrosit, X_1 = medan magnet, X_2 = medan listrik.

Dari hasil analisis diatas menunjukkan bahwa medan magnet memiliki pengaruh positif terhadap proliferasi eritrosit, sedangkan medan listrik memiliki pengaruh negatif. Dengan demikian, medan magnet lebih berpengaruh terhadap proliferasi eritrosit.

Langkah berikutnya untuk mengetahui pengaruh medan listrik dan medan magnet terhadap proliferasi leukosit dilakukan uji Regresi Linier Berganda dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Y = 2.824 + 0.043 X_1 - 0.875 X_2 \quad (2)$$

Persamaan 2 dimana Y = proliferasi leukosit, X_1 = medan magnet, X_2 = medan listrik.

Dari hasil analisis diatas menunjukkan bahwa medan magnet memiliki pengaruh positif terhadap proliferasi leukosit, sedangkan medan listrik memiliki pengaruh negatif. Dengan demikian, medan magnet lebih berpengaruh terhadap proliferasi leukosit.

Eritrosit adalah sel yang mempunyai peran megikat oksigen yang sangat penting untuk proses oksidasi di jaringan tubuh [16]. Fungsi eritrosit yaitu mengangkut oksigen dan karbon dioksida, untuk mengangkut hemoglobin serta menjaga keseimbangan pH darah [17]. Berdasarkan hasil penelitian yang telah didapatkan pada gambar 3 setelah pemaparan dengan waktu 15 menit dan 60 menit yang dilakukan 2 kali dalam sehari terdapat peningkatan dan penurunan proliferasi eritrosit mencit Balb/C. Pada pengukuran hari ke-5 proliferasi eritrosit terdapat perbedaan. Proliferasi eritrosit yang memiliki nilai *post-test* tertinggi dari ketiga kelompok yaitu terdapat pada kelompok kontrol. Nilai *post-test* pada kelompok kontrol dan eksperimen dengan intensitas 500 μT selama 15 menit mengalami penurunan sebesar $1,4672 \times 10^6/\mu\text{L}$, sedangkan nilai *post-test* pada kelompok kontrol dan

eksperimen dengan intensitas 500 μT selama 60 menit juga mengalami penurunan sebesar $1,0086 \times 10^6/\mu\text{L}$. Diantara ketiga kelompok tersebut yang mengalami penurunan terendah pada nilai *post-test* yaitu kelompok eksperimen dengan intensitas 500 μT selama 15 menit. Hal ini membuktikan bahwa pada intensitas 500 μT selama 15 menit dan 60 menit mengalami peningkatan apoptosis atau proses kematian sel. Sedangkan hasil dari tabel 3 nilai signifikansi yang diperoleh yaitu 0,540 artinya nilai signifikansinya $> 0,05$ maka H_0 diterima dan H_a ditolak yang artinya tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Paparan radiasi medan elektromagnetik ELF dengan intensitas 500 μT mempengaruhi terjadinya penurunan proliferasi eritrosit. Beberapa penelitian telah mengindikasikan bahwa paparan medan magnet ELF dapat menyebabkan penurunan proliferasi eritrosit [18]. Disamping itu penelitian lain menunjukkan bahwa paparan medan magnet ELF bisa mempengaruhi proses proliferasi sel dan apoptosis yang dapat menyebabkan dampak pada kesehatan sel darah merah [19]. Penurunan eritrosit dapat menyebabkan anemia yaitu keadaan dimana jumlah eritrosit pada darah tidak cukup untuk mengalirkan oksigen ke jaringan tubuh secara optimal, hal ini bisa menyebabkan kelelahan, kelemahan dan juga penurunan. Medan magnet ELF dapat menginduksi medan listrik di dalam tubuh walaupun intensitas medan magnet ELF yang digunakan rendah, medan listrik yang terbentuk dalam tubuh masih bisa mempengaruhi arus ionik yang sangat penting dalam aktivitas seluler. Selain itu medan magnet ELF bisa menginduksi arus listrik yang sangat lemah di jaringan tubuh khususnya dalam darah yang mengandung ion-ion bermuatan seperti natrium, kalsium dan kalium. Medan listrik yang dihasilkan

dapat menggerakkan ion-ion dalam sel darah, mempengaruhi potensial membran sel yang penting dalam proliferasi eritrosit dan leukosit serta dapat mengubah proliferasi atau pembelahan sel. Paparan medan magnet ELF dapat mengubah produksi radikal bebas (ROS), yang bisa mempengaruhi viabilitas serta proliferasi eritrosit dan leukosit. ROS merupakan radikal bebas yang terbentuk dari proses oksidasi biologis sel [20]. Meningkatnya ROS dapat menyebabkan stres oksidatif sehingga terjadi kerusakan DNA selain itu juga dapat menyebabkan gangguan fungsi sel [21]. Penelitian proliferasi eritrosit mencit Balb/C menunjukkan jika paparan medan elektromagnetik ELF tidak terdapat perbedaan yang signifikan.

Leukosit memiliki peran utama bagi sistem imun yang berkontribusi dalam melawan infeksi serta berbagai jenis penyakit [22]. Leukosit berbeda dengan eritrosit, leukosit mempunyai inti sel dan dapat bergerak secara aktif untuk menyerang organisme berbahaya. Leukosit berfungsi sebagai pertahanan utama tubuh terhadap bakteri, virus, jamur, dan parasit. Selain itu leukosit membantu proses penyembuhan luka dengan mengeliminasi patogen dan merangsang perbaikan jaringan yang rusak [23]. Leukosit terbagi menjadi lima jenis berdasarkan karakteristik morfologi maupun fungsional adalah neutrofil, eosinofil, basofil, monosit dan limfosit (Nurjanah *et al.*, 2024). Berdasarkan hasil penelitian yang sudah didapatkan pada gambar 4.2 setelah pemaparan dengan waktu 15 menit dan 60 menit yang dilakukan 2 kali dalam sehari terdapat peningkatan dan penurunan proliferasi leukosit mencit Balb/C. Pada pengukuran hari ke-5 proliferasi leukosit terdapat perbedaan. Proliferasi eritrosit yang memiliki nilai *post-test* tertinggi dari

ketiga kelompok yaitu terdapat pada kelompok eksperimen dengan intensitas 500 μ T selama 60 menit. Pada kelompok kontrol dan eksperimen dengan intensitas 500 μ T selama 15 menit mengalami penurunan sebesar $0,35 \times 10^6/\mu\text{L}$, sedangkan pada kelompok kontrol dan eksperimen dengan intensitas 500 μ T selama 60 menit mengalami peningkatan sebesar $0,35 \times 10^6/\mu\text{L}$. Diantara ketiga kelompok tersebut yang mengalami penurunan terendah pada nilai *post-test* yaitu kelompok eksperimen dengan intensitas 500 μ T selama 15 menit. Hal ini membuktikan bahwa pada intensitas 500 μ T selama 15 menit dan 60 menit mengalami peningkatan dan penurunan apoptosis atau proses kematian sel darah putih mencit Balb/C. Tabel 4.9 memperlihatkan nilai signifikansi yang diperoleh yaitu 0,013 artinya nilai signifikansinya $<0,05$ maka H_0 ditolak dan H_a diterima yang artinya terdapat perbedaan yang signifikan proliferasi leukosit mencit Balb/C. Paparan radiasi medan elektromagnetik ELF dengan intensitas 500 μ T mempengaruhi terjadinya penurunan proliferasi leukosit. Penurunan proliferasi leukosit mengakibatkan beberapa dampak signifikan terkait sistem imun dan kesehatan secara keseluruhan. Penurunan proliferasi leukosit bisa melemahkan sistem imun tubuh lebih rentan terhadap infeksi bakteri, virus, dan parasit. Selain itu penurunan proliferasi leukosit juga menyebabkan gangguan pada fungsi kekebalan tubuh, hal tersebut bisa menyebabkan infeksi yang lebih sering atau lebih parah. Penelitian (Bakhri., 2018) menyatakan bahwa penurunan jenis leukosit (neutrofil) dapat menyebabkan resiko infeksi bakteri yang lebih tinggi [26]. Pada penelitian lain menyatakan bahwa beberapa infeksi virus, seperti demam berdarah dapat

menyebabkan penurunan proliferasi leukosit dimana kondisi ini bisa mempengaruhi derajat klinis penyakit dan meningkatkan resiko komplikasi [27]. Penelitian proliferasi leukosit mencit Balb/C menunjukkan jika paparan medan magnet ELF mempengaruhi secara signifikan. Dampak dari paparan medan magnet ELF menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan dibandingkan dengan kelompok kontrol yang tidak terpapar medan magnet ELF.

KESIMPULAN

Hasil penelitian medan elektromagnetik ELF dengan intermiten 500 μT secara intermiten selama 15 menit dan 60 menit, 2 kali sehari selama 5 hari menunjukkan bahwa nilai signifikansi pada proliferasi eritrosit sebesar $0.540 > 0,05$ artinya berpengaruh tetapi tidak terdapat perbedaan. Sedangkan nilai signifikansi proliferasi leukosit sebesar $0,13 < 0,05$ artinya terdapat perbedaan yang signifikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Apriani, E., Suparno, S., Munawaroh, A., & Rahmatullah, R, "Proses Pembuatan Krim Keju Kacang Tanah Dengan Memanfaatkan Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF)," *Indonesian Journal of Applied Science and Technology*, vol. 2(3):112-119, 2021.
- [2] Pratama, A., Jumingin, J., & Atina, A, "Pengukuran Radiasi Elektromagnetik Telepon Seluler Berdasarkan Tipe Telepon," *Jurnal Penelitian Fisika dan Terapannya (JUPITER)*, vol. 3(1):19-23, 2021.
- [3] Zhong, Z., Wang, X., Yin, X., Tian, J., & Komatsu, S, "Morphophysiological And Proteomic Responses On Plants Of Irradiation With Electromagnetic Waves," *International Journal of Molecular Sciences*, vol. 22(22):12239, 2021
- [4] Nuriyah, S., & Sudarti, "Pengaruh Paparan Medan Magnet ELF (Extremely Low Frequency) 500 μT Terhadap pH dan Kualitas Fisik Cabai Hijau," *Penelitian Fisika Dan Penerapannya*, vol. 3(3), 2022.
- [5] Moslemi, S., Ghotbi Ravandi, M. R., Zare, S., & Tohidi Nik, H, "Measuring And Assessing The Effects Of Extremely Low-Frequency Electromagnetic Fields (ELF-EMF) On Blood Parameters And Liver Enzymes Of Personnel Working In High Voltage Power Stations In A Petrochemical Industry," *Heliyon*, vol. 9(4):15414, 2023.
- [6] Panagopoulos, DJ, Karabarounis, A., Yakymenko, I., & Chrousos, GP, "Human-made electromagnetic fields: Ion forced-oscillation and voltage-gated ion channel dysfunction, oxidative stress and DNA damage (Review)," *Int J Oncol*. 59(5):1-6, 2021.
- [7] Sudarti, S., Bektiarso, S., & Restanti, R, "Potential Impact of Anemia on BALB/c Mice Exposed to an Extremely Low Frequency 50 Hz Magnetic Field with an Intensity of 100 μT and 500 μT . *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, vol. 10(4):2050–2058, 2024.
- [8] Seomun, G, Lee J, Park J, Exposure to extremely low-frequency magnetic fields and childhood cancer: A systematic review and meta-analysis," *PLoS ONE*, vol. 16(5), 2021.
- [9] Sudarti, S., Bektiarso, S., Prastowo, SHB, Prihandono, T., Maryani, & Handayani, RD, "Optimalisasi Pertumbuhan Lactobacillus Dalam Proses Fermentasi Kopi Luwak Buatan Menggunakan Medan Magnet Frekuensi Sangat Rendah (ELF)" *Jurnal Fisika : Conference Series*, vol. 1465(1), 2020.

- [10] Hanafy, M., Nassar, S. A., Elattar, A., & Mostafa, M., "Vitamin E Reduces The Effect Of Magnetic Field On Depression In The Blood Parameters And In The Integrity Of Erythrocytes In Albino Mice," *Romanian Journal of Biophysics*, vol. 31(1):13-25, 2021.
- [11] Alkayyali T, Ochuba O, Srivastava K, Sandhu JK, Joseph C, Ruo SW, Jain A, Waqar A, Poudel S, "An Exploration of the Effects of Radiofrequency Radiation Emitted by Mobile Phones and Extremely Low Frequency Radiation on Thyroid Hormones and Thyroid Gland Histopathology," *Cureus*, vol. 13(8), 2021.
- [12] Elmas, S., Elmas, O., & Zeybek, A, "Investigation Of The Effects Of 50 Hz Electromagnetic Field On The Lifespan Of The Red Blood Cells In Vitro," *European Journal of Biological Research*, vol. 11(2):177-188, 2021.
- [13] Wang, M., K. Chen, D. Ni., H. Fang, L. Jang, dan C. Chen, "Effect of Extremely Low Frequency Electromagnetic Field Parameters on the Proliferation of Human Breast Cancer," vol. 40(3):384-392, 2021.
- [14] Sharif, M., Amin, J., Siddiqa, A., Khan, H. U., Malik, M. S. A., Anjum, M. A., & Kadry, S, "Recognition Of Different Types Of Leukocytes Using YOLOv2 And Optimized Bag-Of-Features," *IEEE Access*, vol. 8:167448-167459, 2022.
- [15] Kusumawati, E, "Metodologi Penelitian," Kalimantan : Asadel Liamsindo Teknologi, 2024
- [16] Arviananta R., Syuhada, dan Aditya, "Perbedaan Jumlah Eritrosit Antara Darah Segar dan Darah Simpan di UTD RSAM Bandar Lampung," *Jurnal Ilmiah Kesehatan Sandi Husada*, vol. 9(2): 686-694, 2020.
- [17] Rais, M. D. A., Arif, F., Arifuddin, M. F., Muhammad, M., Kaswar, A. B., & Putra, K. P, "Metode Otomatis untuk Menghitung Sel Darah Merah Menggunakan Image Processing," *Journal of Embedded Systems, Security and Intelligent Systems*, vol. 102-107, 2022
- [18] Huizheng, W., & Zhang, X, "Magnetic Fields and Reactive Oxygen Species," *Int J Mol Sci*, vol. 18(10):2175, 2017.
- [19] Nuriyah, S., Sudarti., & Bektiarso, S, "Pengaruh Paparan Medan Magnet Extremely Low Frequency (ELF) Terhadap Nilai pH Cabai Merah Kecil (*Capsicum Frutescens* L)," *Jurnal Hasil Kajian, Inovasi, dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, vol. 8(1):45-51, 2022.
- [20] Mohsin, A & A. Setiowati, "Pengaruh Pemberian Whey Protein Terhadap Kadar Eritrosit Pada Tikus Yang Direnangkan Sampai Kelelahan," *Journal of Sciences and Fitness*, vol. 7(1):44-50, 2021.
- [21] Luo, X., Huang, X., Wang, Z., & Zang, B, " Electromacnetic Field Exposure-Induced Depression Features Could Be Alleviated By Heat Acclimation Based On Remodeling The Gut Microbiota," *Ecotoxicology and Environmental Safety*, vol. 228, 2021.
- [22] Giyartika, F., & Keman. S, "Perbedaan Peningkatan Leukosit pada Radiografer di Rumah Sakit Islam Jemursari Surabaya," *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, vol. 12(2):97-106, 2022.
- [23] Wonohadidjojo, D. M, "Perbandingan Convolutional Neural Network pada Transfer Learning Method untuk Mengklasifikasikan Sel Darah Putih" *Ultimatics : Jurnal Teknik Informatika*, vol. 13(1):51–57, 2021.
- [24] Nurjannah, H. M., A. Muthiyah, M. P. Sari, M. Aruan, P. Andareas, D. I. G. Lusiana, M. A. Rokim, E. T. S.

- Muliyanti, Y. Fu'ana, Sulasmi, A. Novilla, Amirah, G. Saputra, T. Meriyanti, P. Kurniaswi, S. E. Manil, Z. A. Hasan, A. Rahayu, G. Noviar., & F. P. Setyoningrum, "*Hematologi Untuk Mahasiswa*" Cilacap: PT Media Pustaka Indo, 2024.
- [25] Bakhri, S, " Analisis Jumlah Leukosit dan Jenis Leukosit Pada Individu yang Tidur dengan Lampu Menyala dan yang Dipadamkan," *Jurnal Media Analisis Kesehatan*, vol. 1(1):83-91, 2018.
- [26] Hidayat., Rusmini, H. Prasetya, T & Setiawan, H, "Jumlah Leukosit dan Derajat Klinis Penderita Infeksi Degue di RSUD DR. H. Abdul Moeloek Lampung," *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kesehatan Terpadu*, vol. 1(1):45-52, 2021.

