

**LAPORAN PENELITIAN
TAHUN ANGGARAN 2024**

**PENERAPAN MEDAN MAGNET UNTUK MENURUNKAN KADAR
KOLESTEROL, ASAM URAT, GLUKOSA DAN VISCOSITAS DARAH
MENCIT PENDERITA DIABETES**

Nomor DIPA	:	DIPA-025.04.2.423812/2024
Tanggal	:	24 November 2024
Satker	:	(423812) UIN Maulana Malik Ibrahim Malang
Kode Kegiatan	:	(2132) Peningkatan Akses, Mutu, Relevansi dan Daya Saing Pendidikan Tinggi Keagamaan Islam
Kode Output Kegiatan	:	(BGC) Tata Kelola Kelembagaan Publik Bidang Pendidikan
Sub Output Kegiatan	:	(001) PTKIN Yang Meningkatkan Kualitas Layanan Pendidikan Melalui BLU
Kode Komponen	:	(067) Penyelenggara Pendidikan dan Pengajaran (BLU)
Kode Sub Komponen*	:	(SG) Penelitian Terapan Pengembanagn Nasional (SBM)

Oleh:

Prof. Dr. Drs. Mokhamad Tirono, M.Si.

Farid Samsu Hananto, M.T.

Dr. Susilo Mansurudin, M.Pd.



**KEMENTERIAN AGAMA
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT (LP2M)
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**



KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
LEMBAGA PENELITIAN DAN PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT
Kampus I: Jalan Gajayana 50 Malang 65144, Telp. (0341) 551354, Fax. (0341) 572533
Website: www.lp2m.uin-malang.ac.id E-mail: lp2m@uin-malang.ac.id

HALAMAN PERSETUJUAN

Laporan penelitian dengan judul "PENERAPAN MEDAN MAGNET UNTUK MENURUNKAN KADAR KOLESTEROL, ASAM URAT, GLUKOSA DAN VISCOSITAS DARAH MENCIT PENDERITA DIABETES"

Oleh:

Prof. Dr. Drs. Mokhammad Tirono, M.Si. (1964121119911001)

Farid Samsu Hananto, M.T. (197405132003121001)

Dr. Susilo Mansurudin, M.Pd. (197007282008011007)

Telah diperiksa dan disetujui *reviewer* dan komite penilai pada tanggal 20 November 2024

Malang, 20 November 2024

Reviewer 1,

Dr. Moch. Irfan Hadi S.KM, M.KL

Reviewer 2,

Prof. Dr. H. Chaerul Rochman, M.Pd, CIQaR

Komite Penilai,

Dr. H. Isroqunnajah, M.Ag.



HALAMAN PENGESAHAN

Laporan Penelitian ini disahkan oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Pada tanggal 20 November 2024

Peneliti

Ketua : Nama : Prof. Dr. Drs. Mokhamad Tirono, M.Si.
NIP : 1964121119911001

Tanda Tangan

Anggota I : Nama : Farid Samsu Hananto, S.Si., M.T
NIP : 197405132003121001

Tanda Tangan

Anggota II : Nama : Dr. Susilo Mansurudin, M.Pd.
NIP : 197007282008011007

Tanda Tangan



Ketua LP2M
UIN Maulana Malik Ibrahim Malang

Prof. Dr. H. Agus Maimun, M.Pd.
NIP. 19650817 199803 1 003

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT., karena limpahan rahmat, nikmat, hidayah dan inayah-Nya Penelitian ini dapat terselesaikan. Penelitian ini disusun dengan tujuan untuk memenuhi salah satu tugas pelaksana Tri Darma Perguruan Tinggi yaitu melaksanakan penelitian dan mengembangkan Ilmu Pengetahuan sebagai sumbangsih terhadap kemajuan dan kemaslakhatan masyarakat.

Penyelesaian Penelitian ini tidak terlepas dari bantuan beberapa pihak. Oleh karena itu bersama ini penulis sampaikan terima kasih kepada yth:

1. Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah memberi kemudahan dalam pelaksanaan penelitian.
2. Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat yang telah membantu kelancaran pendanaan.
3. Ketua Jurusan Fisika yang telah memberi ijin menggunakan peralatan laboratorium untuk pelaksanaan penelitian.
4. Para Reviewwer yang telah membantu kontrol dan perbaikan hasil penelitian.

Semoga semua dukungan dan bantuan mereka tersebut diatas dijadikan sebagai amal Jariyah oleh Allah Swt. Amin

Malang, Nopember 2024

Peneliti

DAFTAR ISI

Halaman Judul.....	i
Kata Pengantar	ii
Daftar isi.....	iii
Abstrak	iv
1. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Kajian Terdahulu yang Relevan (<i>literature riview</i>)	4
2. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Pembangkitan medan magnet.....	6
2.2. Pengaruh Medan Magnet terhadap darah	7
2.3. Diabetes Mellitus	8
2.4. Kolesterol.....	9
2.5. Asam Urat.....	9
2.6. Glukosa darah	9
2.7. Viskositas darah.....	10
3. METODE PENELITIAN	
3.1. Jenis Penelitian	12
3.2. Variabel Penelitian.....	12
3.3. Alat dan Bahan Penelitian	12
3.4. Susunan Alat.....	13
3.5. Pprosedur Penelitian	13
3.6. Diagram Alir.....	14
3.7. Persiapan Hewan Coba	15
3.8. Pembuatan larutan Alokasan	15
3.9. Perlakuan Menggunakan Medan Magnet	15
3.10. Pengukuran Kadar Kolesterol, Asam Urat, Glukosa dan Viskositas	16
3.11. Teknik Analisis Data	16
4. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Hasil Penelitian	
4.1.1. Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Kadar kolesterol.....	17
4.1.2. Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Kadar Hemoglobin Mencit	21
4.1.3. Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Kadar Glukosa Darah Mencit	25
4.1.4. Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Viskositas Darah Mencit	29
4.1.5. Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Jumlah Eritrosit Menci	34
4.1.6. Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Diameter Glomerulus.....	39
4.1.7. Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Kepadatan sel otot jantung	40

4.1.8. Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Histologi Eritrosit.....	41
4.2. Pembahasan	
4.2.1. Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Kadar Kolesterol Mencit	42
4.2.2. Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Kadar Hemoglobin Mencit	44
4.2.3. Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Kadar Glukosa Darah Mencit	46
4.2.4. Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Viskositas Darah Mencit	49
4.2.5. Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Jumlah Eritrosit Mencit	51
5. PENUTUP	
5.1. Kesimpulan	54
5.2. Saran	55
Daftar Pustaka	56

Abstrak

Beberapa waktu belakangan prevalensi diabetes meningkat lebih dari tiga kali lipat pada orang dewasa yang berumur 20-79 tahun. Selama ini, penanganan masalah diabetes melibatkan pemakaian obat kimiawi dan herbal dalam jangka waktu yang lama. Pemakaian obat kimiawi secara terus menerus dimungkinkan adanya efek samping yang dapat merugikan kesehatan. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk menurunkan kadar glukosa dan meningkatkan kandungan hemoglobin darah dengan efek samping yang minimal. Penelitian dilakukan menggunakan sampel mencit yang menderita diabetes. Perlakuan menggunakan medan magnet bolak balik dengan kerapatan fluks magnet 0,3 dan 0,6 mT selama 20 menit sehari dan diulang selama 5 hari. Frekwensi medan magnet yang digunakan adalah 50, 100, 150, 200 Hz. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan kadar gula darah terbesar terjadi pada paparan dengan frekwensi 100 Hz dan kerapatan fluks magnet 0,6 mT yaitu sebesar, sedangkan kenaikan kadar hemoglobin terbesar terjadi pada frekwensi 100 Hz dan kerapatan fluks magnet 0,3. Parameter lain yang mengalami perubahan tidak linier adalah kandungan kolestrol, viscositas, dan eritrosit darah, glamolurus dan kepadatan sel ginjal, kepatan sel jantung, dan kondisi eritrosit. Hasil optimum dari paparan medan magnet cenderung terjadi pada frekwensi dan kerapatan fluks magnet yang berbeda.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Perhatian terhadap kondisi kesehatan populasi lanjut usia semakin meningkat karena kerentanannya terhadap serangan penyakit. Faktor usia menjadi variabel penting dalam memahami kesehatan, karena semakin tua usianya daya tahan tubuh individu cenderung menurun (Fuentes et al., 2017). Penuaan senantiasa diikuti dengan kemunduran fungsi kerja organ tubuh, akibatnya produktivitas menurun dan rentan terhadap serangan penyakit (Aiyar et al., 2016). Diabetes melitus (DM) sering dijumpai pada individu yang berusia lanjut. Diabetes dicirikan dengan hiperglikemia kronis, dan kelainan metabolisme karbohidrat (Galicía-garcía et al., 2020). DM dapat membuat penderitanya cenderung mengalami komplikasi, yang pada akhirnya juga akan mengakibatkan terganggunya fungsi ginjal (Ueno et al., 2002). Penyakit DM mengakibatkan kadar gula darah seorang penderita mengalami peningkatan, selanjutnya menyebabkan peningkatan viskositas darah dan risiko hiperlipidemia, hipertrigliseridemia, serta pembentukan platelet yang tidak normal. Risiko lanjutan adalah peningkatan kadar kolesterol, trigliserida, dan aterosklerosis yang akhirnya dapat mengakibatkan terjadinya penyakit jantung koroner (Sarwar et al., 2015).

Hasil survei *World Health Organization* (WHO) melaporkan bahwa Indonesia menduduki ranking 4 dunia jumlah penderita DM. Sebanyak 5% kematian di setiap tahunnya di Indonesia disebabkan oleh DM dan diperkirakan meningkat sebesar 50% pada saat sepuluh tahun ke depan (Kusuma & Prabandani, 2013). Secara global mulai tahun 2000, perkiraan prevalensi diabetes meningkat lebih dari tiga kali lipat pada orang dewasa yang berumur 20-79 tahun, yaitu dari sekitar 151 juta (4,6%) menjadi 537 juta (10,5%) pada tahun 2021 (Federation, 2021). Kasus lain yang sering dihadapi oleh lanjut usia adalah tingginya kolestrol dan asam urat. Kadar low density cholestrol (LDL) tinggi dalam darah dapat meningkatkan faktor risiko terjadinya penyakit arteri koroner atau penyakit jantung koroner dan stroke (Weverling-Rijnsburger, et al., 2015). Sementara itu, tingginya kadar asam urat dalam darah sering menyebabkan nyeri sendi yang signifikan.

Selama ini, penanganan masalah kesehatan seperti diabetes, kolesterol tinggi, dan asam urat melibatkan pemakaian obat kimiawi dan herbal dalam jangka waktu yang lama. Pemakaian obat kimiawi secara terus menerus dimungkinkan adanya efek samping yang dapat merugikan kesehatan, terlebih pada penyakit diabetes (England, 2019). Prinsip penanganannya saat ini adalah dengan menjaga kadar gula, kolesterol, dan asam urat dalam darah berada pada batas normal, karena belum ada obat yang dapat menyembuhkan secara sempurna. Pemakaian obat herbal umumnya dibutuhkan dosis yang lebih besar dan dilakukan secara terus menerus, sehingga membutuhkan biaya yang lebih besar dengan efek kesembuhan yang lebih minimal. Selain itu cara lain yang umumnya dilakukan untuk menjaga kadar gula, kolesterol dan asam urat dilakukan dengan cara menghindari makanan tertentu. Apabila makanan yang dihindari dibutuhkan untuk menjaga kesehatan organ lain, maka dampaknya organ menjadi tidak sehat. Oleh karena itu upaya lain yang lebih murah yang mampu mengurangi efek samping perlu dilakukan. Salah satu usaha yang mulai diteliti adalah terapi menggunakan medan magnet.

Beberapa waktu belakangan mulai banyak penelitian tentang aplikasi medan magnet untuk kesehatan. Bahaoddini et al., (2008) melaporkan bahwa perlakuan menggunakan medan magnet dengan frekuensi 50 Hz, dan kerapatan fluks magnet 500 μ T selama 10 jam per hari selama 2 bulan signifikan menurunkan kadar kolesterol darah mencit. Penelitian lain melaporkan bahwa kelompok tikus yang terpapar medan magnet dengan kerapatan fluks magnet 500 μ T dan frekuensi 50 Hz memiliki kadar kolesterol lebih rendah dibandingkan dengan kontrol (Luo et al., 2017). Takeuchi & Iwasaka, (2015) melaporkan bahwa penerapan medan magnet pada kristal monosodium urat (MSU) dapat meningkatkan laju pelarutan kristal. Perlakuan medan magnet berpulsa 1,3 T selama 1 menit dapat menurunkan kekentalan darah sebesar 20%-30%. Lotfi et al., (2011) melaporkan bahwa perlakuan medan magnet statis atau pulsa 50 Hz menurunkan konsentrasi glukosa darah mencit BALB/C. Tao & Huang, (2011) menunjukkan bahwa medan magnet dengan kekuatan 1,3 T pada aliran darah dapat menurunkan kekentalan darah sebesar 20-30% dalam satu menit.

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa medan magnet berpotensi memiliki pengaruh yang baik terhadap sistem peredaran darah dan

komposisi darah. Namun belum ada penelitian yang secara khusus mengeksplorasi penggunaan medan magnet bolak balik serta frekwensi yang menghasilkan kondisi optimum penurunan kandungan glukosa, kolesterol, asam urat dan viscositas darah. Oleh karena itu pada penelitian dilakukan perlakuan dengan medan magnet bolak-balik dengan merubah frekwensinya.

1.2. Rumusan Masalah

Berpijak pada latar belakang dibuat rumusan masalah.:

1. Seberapa besar pengaruh perlakuan medan magnet terhadap kadar kolesterol darah mencit diabetes?
2. Seberapa besar pengaruh perlakuan medan magnet terhadap kadar glukosa darah mencit diabetes?
3. Seberapa besar pengaruh perlakuan medan magnet terhadap kadar Hemoglobin darah mencit diabetes?
4. Seberapa besar pengaruh perlakuan medan magnet terhadap kadar eritrosit darah mencit diabetes?
5. Seberapa besar pengaruh perlakuan medan magnet terhadap viskositas darah mencit diabetes?
6. Seberapa besar pengaruh perlakuan medan magnet terhadap Histologi jantung, ginjal, dan eritrosit darah mencit diabetes?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan :

1. Mendapatkan alternatif teknik untuk menurunkan kadar gula, kolesterol, hemoglobin, eritrosit, viscositas darah dan histologi ginjal, jantung, dan darah mencit.
2. Untuk memperoleh besaran frekwensi medan magnet yang tepat untuk dapat menurunkan kadar kolesterol, kadar glukosa serta viscositas darah dan menaikkan hemoglobin serta eritrosit.

1.4. Manfaat Penelitian

Berhasilnya penelitian ini diharapkan memperoleh manfaat:

1. Menjadi salah satu terapi alternatif sekaligus solusi bagi penderita kolesterol, glukosa, dan viskositas darah dengan cara yang lebih murah dan efek samping yang kecil.
2. Sebagai referensi dasar pengembangan pengobatan dengan memanfaatkan teori fisika.

1.5 Kajian Terdahulu yang Relevan (Literature Review)

Medan magnet yang digunakan dalam terapi umumnya memiliki frekuensi di bawah 100 Hz dan kepadatan fluks magnetik antara 0,1 mT sampai 20 mT (Pasek et al., 2016). Medan magnet pulsa lebih efektif dalam terapi non-invasif yang penerapannya secara berulang dalam rentang waktu singkat pada jaringan hidup. Saat medan magnetik diaplikasikan, arus listrik tambahan diinduksi dalam jaringan, menyebabkan efek sekunder pada jaringan tersebut. Karena durasi pulsa yang singkat dan frekuensi rendah, medan magnetik hanya aktif selama sebagian kecil waktu terapi. Waktu terapi dapat disesuaikan yaitu dari beberapa menit sampai beberapa jam, dan terbukti membantu memperbaiki atau mendukung kesehatan jaringan (Flatscher et al., 2023).

Terapi menggunakan medan magnet terbukti membantu menurunkan kadar kolesterol darah dan meningkatkan peredaran darah dengan mengatur dilatasi pembuluh darah secara sentral. Hal tersebut sangat penting dalam mencegah agregasi trombosit dan menjaga oksigenasi dan nutrisi yang memadai pada jaringan kardiovaskular dan jaringan lainnya (Whelan et al., 2009). Medan magnet juga efektif dalam mengurangi plak aterosklerosis dengan mengatur proses peradangan yang terlibat dalam aterosklerosis dan mempengaruhi sinyal seluler. Secara khusus, medan magnet dapat berperan dalam mengatasi penyakit kolesterol dengan cara mempengaruhi angiogenesis, yaitu pembentukan pembuluh darah baru dari yang sudah ada sehingga membantu memperbaiki aliran darah yang terganggu akibat plak aterosklerosis (Soltani et al., 2023).

Perkembangan terapi menggunakan medan magnet juga menunjukkan implikasi pengaruh pada kristal MSU (monosodium urate) yang menjadi penyebab

masalah asam urat. Penelitian menunjukkan bahwa medan magnet dapat mempercepat laju pelarutan kristal MSU. Medan magnet, terutama pada intensitas yang lebih tinggi, dapat menyebabkan gerakan partikel dan struktur kristal untuk mengalami perubahan atau pergantian yang memengaruhi laju pelarutan kristal. Gaya medan magnet yang diterapkan pada kristal bisa menimbulkan konveksi magnetik. Gaya medan magnet yang terkait dengan gradien medan magnet dapat menghasilkan pergerakan partikel-partikel dalam larutan kristal. Gaya pada medan magnet ini bersifat proporsional terhadap perubahan medan magnet dalam jarak tertentu. Hal ini disebut sebagai gaya magnetik yang mungkin mempengaruhi gerakan dan pembauran kristal dalam larutan, dan akibatnya, dapat mempercepat laju pelarutan kristal MSU. Hal tersebut dapat memberikan efek positif bagi penderita asam urat karena meningkatkan laju pelarutan kristal MSU, yang memungkinkan untuk mengurangi pembentukan kristal yang sering kali menjadi penyebab gejala nyeri yang terkait dengan kondisi asam urat (Takeuchi & Iwasaka, 2015).

Beberapa penelitian telah mengungkapkan bahwa medan magnet berpengaruh terhadap kadar glukosa darah. Ditemukan bahwa paparan medan magnet statis dapat menghasilkan penurunan yang signifikan pada kadar glukosa darah. Medan magnet mengakibatkan respons stres pada tubuh, yang memicu peningkatan katekolamin dan adenosin monofosfat (AMP)-activated protein kinase. Kedua senyawa ini dapat membantu mengurangi resistensi insulin dan menurunkan kadar glukosa darah yang tinggi. Studi menyatakan bahwa efek mengurangi resistensi insulin mungkin terjadi melalui modifikasi produk reaksi kimia yang terkait dengan konsep mekanisme pasangan radikal yang diinduksi medan. Ini merupakan salah satu cara dimana medan magnetik mempengaruhi penggunaan glukosa dan sensitivitas sel terhadap insulin (Mayrovitz et al., 2022).

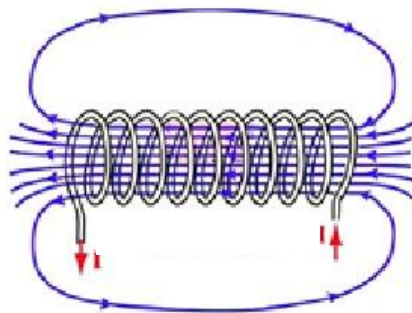
BAB II KAJIAN TEORI

2.1 Pembangkitan medan magnet

Solenoida merupakan lilitan kawat yang panjang, terdiri dari banyak loop. Aliran arus dalam setiap loop membangkitkan medan magnet disekitar lilitan, seperti yang ditunjukkan Gambar 1. Kerapatan fluks magnet pada bagian dalam solenoida adalah jumlah medan magnet yang dihasilkan oleh arus listrik di setiap loop. Medan magnet dalam solenoida dengan jumlah lilitan N dan panjang ℓ yang dialiri arus listrik I , dapat dirumuskan (Giancoli, 2001):

$$B = \frac{\mu_0 N I}{\ell} \quad (1)$$

Dimana B = besar medan magnet (T); μ_0 = permeabilitas ruang hampa ($4\pi \times 10^{-7} \text{T} \cdot \text{m/A}$), N/l = jumlah lilitan persatuan Panjang (m^{-1}), dan I = arus listrik (A)



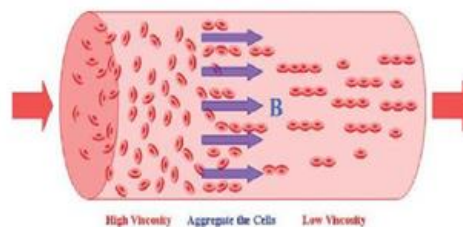
Gambar 1. Arah garis gaya magnet yang melalui sisi dalam solenoida

Besar medan magnet bagian tengah solenoida merupakan gabungan dari medan magnet yang dihasilkan oleh masing masing aliran arus (Giancoli, 2001). Solenoida digunakan untuk menghasilkan medan magnet yang memiliki kekuatan dan kehomogenan dalam daerah yang dikelilinginya. Medan magnetik dalam solenoida pada dasarnya berasal dari rangkaian lilitan arus yang seragam dan berdekatan satu sama lain (Tipler, 2001). Oleh karena itu, garis-garis medan magnet dalam sekenaid hampir sejajar dengan sumbu dan tersusun dengan rapat, Medan

magnet yang dihasilkan di luar solenoida memiliki kekuatan yang lemah (Young dan Freedman, 2002).

2.2 Pengaruh Medan Magnet terhadap darah

Hemoglobin dalam darah berfungsi untuk membawa oksigen yang berasal dari paru-paru menuju ke berbagai jaringan (Guyton & Hall, 2006). Hemoglobin mengandung atom besi (Fe) yang berikatan dengan oksigen didalamnya. Paparan medan magnet akan mengatur susunan konformasi agregat eritrosit dan dengan adanya hemoglobin membuat sel darah merah memiliki sifat paramagnetic (Tao & Huang, 2011). Interaksi antara medan magnet luar dengan darah berpotensi menurunkan viskositas darah (Gmitrov, 2013), seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Gambaran efek medan magnet luar terhadap konformasi agregat eritrosit (Tao & Huang, 2011)

Darah memiliki susceptibilitas magnetik yang bervariasi, tergantung pada kandungan oksigennya. Darah yang kurang terdeoksigenasi, seperti yang mengalir dalam pembuluh darah vena menuju jantung, bersifat sebagai larutan paramagnetic dengan susceptibilitas magnetic sekitar $3,5 \times 10^{-6}$, sedangkan darah yang mengandung lebih banyak oksigen, seperti di arteri dan di pompa dari jantung, memiliki sifat diamagnetic, dengan susceptibilitas sekitar $-6,67 \times 10^{-7}$ (Sinatra, 2010).

2.3 Diabetes Mellitus

DM merupakan suatu kondisi kronis yang memiliki tanda meningkatnya kadar glukosa dalam darah yang disertai dengan urine yang memiliki rasa manis. Kelainan yang mendasar dari DM adalah defisiensi hormon insulin. Insulin merupakan hormon yang mampu mengurangi kadar glukosa yang ada dalam darah (Kara et al., 2012). Kurangnya insulin dalam darah disebabkan oleh gangguan produksi dari sel-sel beta (β) langerhans pada kelenjar pankreas, atau bisa juga disebabkan oleh kurang sensitifnya respon sel-sel tubuh terhadap insulin (Lenzen, 2021). Ketidaknormalan metabolisme dapat berkontribusi pada perkembangan komplikasi kronik baik pada tingkat mikroangiopati maupun makroangiopati (Alfarisi et al., 2012).

Menurut American Diabetes Association, klasifikasi diabetes ada empat kelas klinis, yaitu (Rahmasari & Wahyuni, 2019):

1. Diabetes Mellitus tipe I

DM tipe 1 atau yang umumnya terjadi karena adanya gangguan pada produksi insulin di pankreas. Oleh karena itu dalam pengobatannya penderita membutuhkan suplai insulin eksternal. Diabetes tipe ini hanya terjadi pada sekitar 5-10% penderita dan biasanya muncul sebelum usia 40 tahun (Kroon et al., 2008).

2. Diabetes Mellitus Tipe 2

DM tipe 2 adalah suatu kondisi dimana tubuh mengalami resistensi terhadap insulin atau penderita kekurangan sekresi insulin secara bertahap. DM tipe 2 biasanya terjadi pada orang yang sudah berumur diatas 40 tahun dan umumnya juga terjadi pada orang yang memiliki kelebihan berat badan maupun usia lanjut (Kroon et al., 2008).

3. Diabetes Mellitus Gestasional (Kehamilan)

DM Gestasional merupakan suatu kondisi dimana diabetes atau intoleransi glukosa terjadi selama masa kehamilan. DM Gestasional bersifat sementara dan terjadi pada sekitar 4-5% wanita hamil, seringkali terdeteksi selama atau setelah trimester kedua kehamilan. (Hartanti et al., 2013).

4. Diabetes Mellitus tipe lain

DM tipe lain penyebabnya ada berbagai macam faktor, seperti fungsi sel beta mengalami kerusakan secara genetik, gangguan kerja insulin karena adanya

faktor genetik, adanya penyakit eksokrin pada pankreas, endokrinopati, paparan obat kimia, infeksi, sebab imunologi, serta sindrom genetik yang terkait dengan DM (Kurniawaty, 2014).

2.4 Kolesterol

Salah satu komponen pembentuk lemak adalah kolesterol. Lemak mengandung banyak komponen diantaranya adalah trigiserida, asam lemak bebas, fosfolipid, dan kolesterol. Kolesterol berperan dalam pembentukan membran sel yang ada pada tubuh. Kolesterol juga memiliki peran penting dalam produksi hormon seks, vitamin D, serta menjalankan fungsi saraf dan otak (Mumpuni & Wulandari, 2011). Sebagian besar kolesterol diproduksi oleh hati yaitu sekitar 80%, sedangkan 20% berasal dari makanan yang dikonsumsi. Produksi kolesterol oleh hati dan asupan lemak jenuh melalui makanan memainkan peran penting dalam kesehatan sistem kardiovaskular. Darah yang memiliki kadar kolesterol yang tinggi beresiko terjadinya penyakit arteri koroner atau PJK.

2.5 Asam Urat

Asam urat (*uric acid*) merupakan substansi yang terbentuk dari proses pemecahan purin dengan bantuan enzim-guanase dan xantin-oksidasase. Purin salah satu komponen struktural kimia sebagai pembentuk DNA. Menuju ginjal asam urat dibawa melalui aliran darah dan setelah disaring oleh ginjal dikeluarkan bersama urin. Purin adalah turunan dari protein di dalam tubuh dan bersumber dari makanan yang telah dikonsumsi. Purin merupakan bagian turunan dari nucleoprotein, yang merupakan salah satu komponen asam nukleat yang terdapat di dalam inti sel. Beberapa makanan yang dapat menghasilkan purin adalah produk tumbuhan yaitu sayuran, kacang-kacangan dan buah maupun hewan yaitu daging, ikan, jeroan dan lain sebagainya (Sayekti, 2017).

2.6 Glukosa Darah

Glukosa adalah prekursor yang mensintesis semua karbohidrat yang ada dalam tubuh seperti pembentukan glikogen, ribosa dan deoksiribosa dalam asam nukleat, galaktosa dalam laktosa susu, serta dalam komponen seperti glikolipid, glikoprotein, dan proteoglikan (Velanie et al., 2017). Glukosa merupakan bentuk

gula yang asalnya dari karbohidrat pada makanan berikutnya disimpan dalam hati dan otot rangka sebagai glikogen. Glukosa memiliki fungsi sebagai penyedia energi tubuh beserta dengan jaringan di dalamnya (Nurmalasari et al., 2021). Kadar gula darah menandai jumlah kandungan glukosa yang terdapat didalam plasma darah. Kadar glukosa darah dipengaruhi oleh banyak faktor diantaranya bertambahnya asupan makanan, stress dan emosi yang meningkat, bertambahnya berat badan dan usia, serta aktivitas fisik (Jiwintarum et al., 2019). Kadar glukosa darah dipengaruhi oleh standar diagnostik yang ditetapkan oleh Perkumpulan Endokrinologi Indonesia menetapkan bahwa seseorang dapat didiagnosis mengidap diabetes jika dalam kondisi puasa kadar gulanya >126 mg/dL atau pengujian acak >200 mg/dL. Normalnya, kadar glukosa darah kurang dari 120-140 mg/dL setelah 2 jam mengonsumsi makanan atau minuman yang mengandung gula atau karbohidrat, dan kadar normal glukosa acak berkisar 80-180 mg/dL (Ibrahim, 2018).

2.7 Viskositas Darah

Sistem pengaturan diri dan aktivitas otak menjaga kecepatan aliran darah agar tetap konstan. Secara organik, karakteristik aliran darah dan transformasi vaskular memiliki keterkaitan dengan sistem peredaran darah seluruh tubuh. Aliran darah sebanding dengan kecepatan aliran dan berbanding terbalik dengan luas penampang, yang dipengaruhi oleh kontraksi pembuluh darah (Jin et al., 2017). Poiseuille meneliti sifat fisika peredaran darah manusia dan menemukan persamaan Poiseuille.

$$Q = \frac{\pi R^4 (P_1 - P_2)}{8 \eta l} \quad (2.4)$$

Dimana:

η = Koefisien viskositas

R = Jari-jari sisi dalam tabung (m)

Q = kecepatan aliran volume (m³/s)

l = Panjang pipa/tabung (m)

$P_1 - P_2$ = Selisih tekanan kedua ujung tabung (N/m²)

Persamaan 2.4 memperlihatkan hubungan terbalik antara kecepatan aliran Q dengan viskositas η , akan tetapi berbanding lurus dengan gradien tekanan $(P_1 - P_2)/l$. Kecepatan aliran bergantung pula dengan nilai pangkat empat jari-jari pipa

atau dalam hal ini yaitu pembuluh darah (Sartika & Wulandari, 2020). Tingginya viscositas fluida membuat sulit mengalir termasuk benda yang menyertai sulit bergerak. Viskositas berkaitan erat dengan hambatan saat mengalir, kekentalan yang semakin tinggi, maka semakin besar pula hambatannya (Giancoli, 1998).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen laboratorium dengan rancangan “*the post-test only control group design*”, dimana pengamatan atau pengukuran dilakukan setelah perlakuan. Hasilnya dibandingkan dengan kelompok kontrol untuk mengevaluasi pengaruh paparan medan magnet terhadap kadar kolesterol, asam urat, glukosa dan viskositas darah pada mencit yang menderita diabetes. Sebanyak 45 ekor mencit putih akan dibagi ke dalam kelompok tanpa perlakuan dan 8 kelompok lainnya akan diberi perlakuan paparan medan magnet dengan empat variasi frekuensi berbeda, yakni 50 Hz, 100 Hz, 150 Hz, dan 200 Hz, dengan kerapatan fluks magnet 0,3 mT dan 0,6 mT untuk setiap frekuensi. Perlakuan diberikan selama periode 20 menit.

3.2. Variabel Penelitian

Variabel bebas : Frekuensi paparan medan magnet.

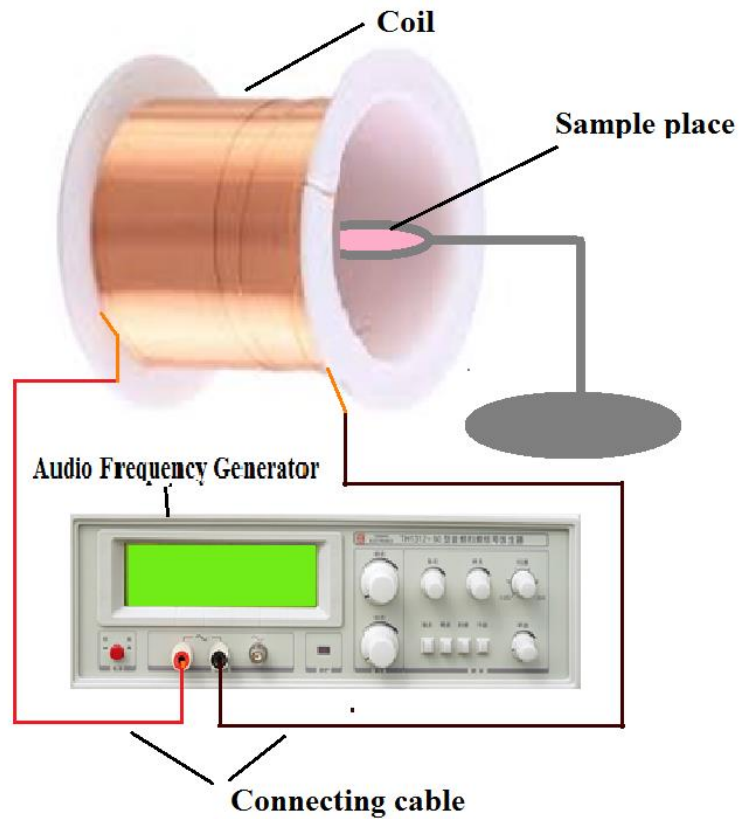
Variabel Terikat : Kadar kolestrol, asam urat, kadar glukosa darah, dan viskositas darah.

Variabel kontrol : Jenis hewan, jenis kelamin, umur hewan, berat badan dan, makanan, suhu lingkungan

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Medan magnet dari solenoid, Generator pembangkit frekwensi, alloxantetrahydrat 70 mg/kg, NaCl 0,9%, Masker, Sarung tangan, Spidol permanen, Kertas label, Apendorf 1,5 ml, Pakan mencit (BR 1), Nipel (tempat minum hewan coba), Minuman mencit (air putih), kandang hewan coba, Multitester, Osiloskop, Sentrifugator, Sekam, Gunting, Kabel penghubung

3.4 Susunan alat

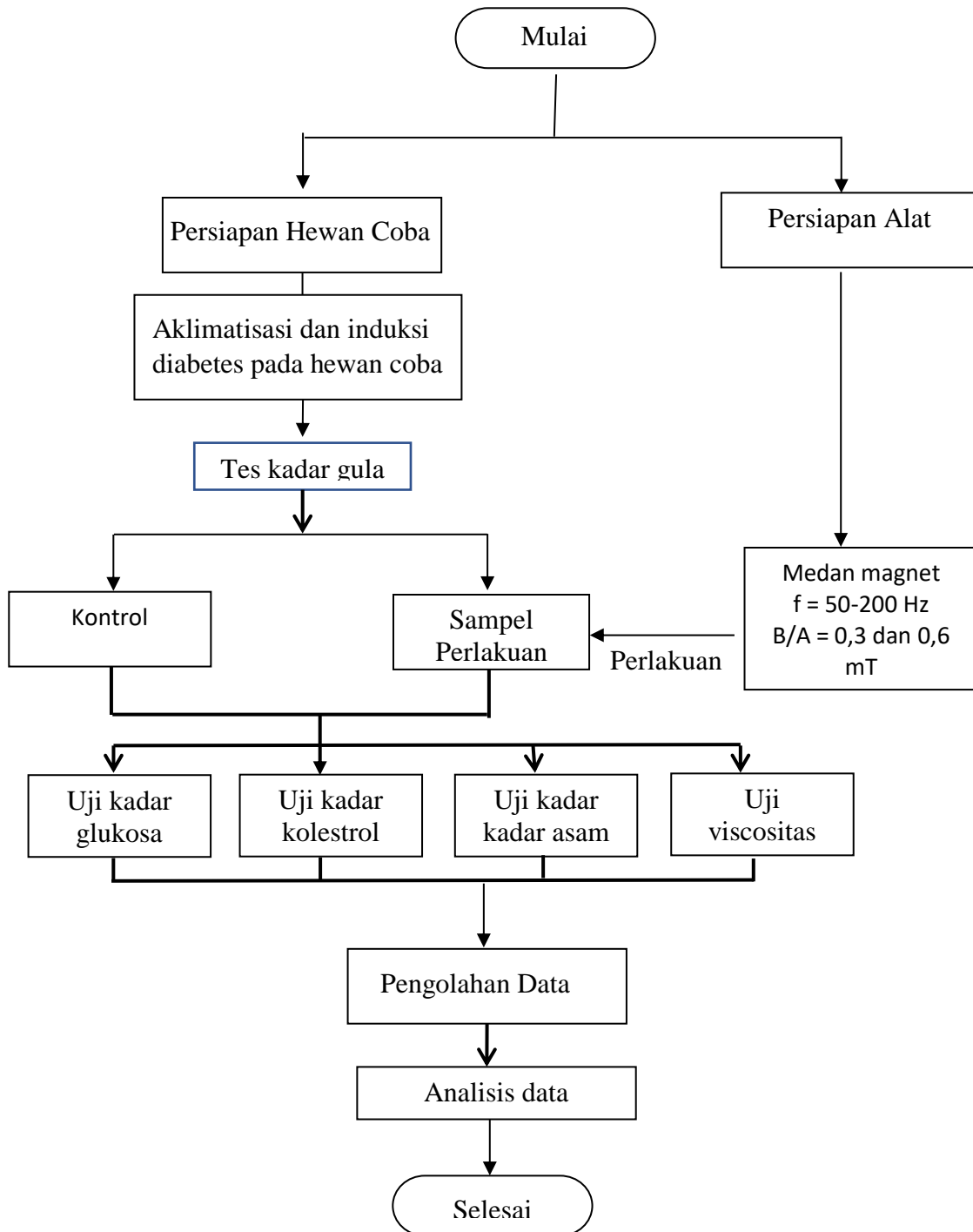


Gambar 1. Rangkaian alat untuk melaksanakan penelitian

3.5 Prosedur Penelitian

Mencit putih (*Mus musculus*) Jantan berusia 8 minggu dengan berat rata-rata 25-30 gram digunakan. Mencit diinduksi dengan aloksan untuk membuat menderita diabetes dan dipelihara sampai 7 hari. Kemudian tiap kelompok masing-masing diberi paparan medan magnet dengan frekuensi 50 Hz, 100 Hz, 150 Hz, dan 200 Hz, dengan kerapatan fluks magnet 0,3 mT dan 0,6 mT. Perlakuan ini dilakukan selama 20 menit setiap harinya diulang selama 5 hari.

3.6 Diagram Alir



3.7 Persiapan Hewan Coba

Hewan coba berumur 7 minggu diperoleh dari peternak mencit terlebih diaklimasi selama 1 minggu di laboratorium. Selama aklimasi mencit diletakkan dalam kandang dan setiap harinya diberi pakan BR1 secara *ad libitum* dengan jumlah yang sama. Setelah aklimasi mencit diinjeksi aloksan monohidrat dengan cara intra vena. Injeksi dilakukan dari ekor dengan dosis tunggal yaitu 160 mg/kg BB agar menjadi diabetes. Ditunggu selama satu minggu ditempat aklimasi, agar mencit menderita diabetes. Berikutnya mencit dipuasakan selama 18 jam sebelum diukur kadar glukosa darahnya. Diperiksa kadar glukosa darahnya untuk memastikan mencit menderita diabetes.

3.8 Pembuatan Larutan Aloksan

Diambil aloksan sebanyak 800 mg kemudian dilarutkan menggunakan NaCl 0,9 % yang dalam labu takar sampai volumenya menjadi 25 mL. Campuran berikutnya divortex sampai menjadi homogen. Larutan aloksan berikutnya digunakan untuk memberi injeksi (1 ml/200 gr BB) pada mencit putih.. Tiap mencit diberi dengan dosis 32 mg/200 gr BB dan ditunggu selama 7 hari sampai tikus dinyatakan telah menderita diabetes.

3.9 Perlakuan menggunakan medan Magnet

Kelompok pertama atau kelompok kontrol tidak diberi paparan medan magnet. Sementara itu 8 kelompok lainnya ditempatkan dalam kandang terpisah yang telah diberi label masing-masing perlakuan, dan setiap mencit ditandai menggunakan spidol permanen untuk membedakan setiap pengulangan. Hewan coba kemudian dipapari menggunakan medan magnet masing-masing dengan frekuensi 50 Hz, 100 Hz, 150 Hz, dan 200 Hz, serta kerapatan fluks magnet 0,3 mT dan 0,6 mT selama 20 menit. Setelah dipapar medan magnet, dilakukan pengambilan sampel darah dan diukur kadar kolesterol, asam urat, glukosa darah, dan viskositas darah pada mencit pada hari ke 7 setelah pemaparan.

3.10 Pengukuran Kadar Kolesterol, Asam Urat, Glukosa dan Viskositas Darah

Pengukuran kadar kolesterol, asam urat, dan glukosa darah menggunakan metode setrip. Ekor mencit akan terlebih dahulu disterilkan menggunakan alkohol dan dilukai dengan digunting bagian ujungnya. darah yang keluar, akan ditetaskan pada setrip sesuai uji yang diinginkan yang telah terpasang pada alat baca, sedangkan mencit kembali disterilkan dengan alkohol. Nilai uji pada darah akan muncul pada alat, kemudian dicatat. Kadar kolesterol, asam urat, dan glukosa darah diuji menggunakan strip yang berbeda-beda.

Pada pengukuran viskositas darah, dilakukan pengambilan darah mencit putih melalui sinus retro orbital menggunakan pipet mikro hematokrit. Darah akan ditampung pada appendorf atau tabung sentrifugasi mikro tanpa anti koagulan. Tabung-tabung lalu dimasukkan dalam sentrifugator dengan posisi saling berlawanan sebagai penyeimbang dan diputar dengan kecepatan 3000 rpm selama 15 menit. Pengukuran dilakukan dengan mengukur nilai hematokrit yaitu membagi tinggi endapan eritrosit dengan tinggi keseluruhan darah dan dikali 100%.

$$\% \eta_{\text{hematokrit}} = \frac{h_{\text{hematokrit}}}{h_{\text{darah}}} 100\% \quad (3.1)$$

Nilai hematokrit yang diperoleh kemudian akan dimasukkan ke dalam rumus yang telah didapat dari grafik pengaruh hematokrit terhadap viskositas darah (Gambar 3), yaitu:

$$y = 1,5 + 0,0708x - 0,0019x^2 + (4 \times 10^{-5}) x^3 \quad (3.2)$$

3.11 Teknik Analisis Data

Semua data yang telah tercatat akan diolah dalam bentuk grafik menggunakan perangkat Origin 2018. Analisis juga dilakukan menggunakan statistik IBM SPSS 26. Analisis Anova dilakukan untuk mencari signifikasinya perbedaan antar perlakuan. Apabila diperoleh perubahan yang signifikan selanjutnya diuji Post Hoc menggunakan uji DMRT dengan signifikansi statistik ditetapkan sebesar $p < 0,05$ untuk melihat perlakuan paling efektif.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimental dengan menggunakan hewan coba mencit (*Mus mucus*). Adapun tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh medan magnet *Ekstremely Low Frequency* (ELF) terhadap kadar kolesterol, hemoglobin, glukosa darah, viskositas darah dan jumlah eritrosit pada Mencit yang menderita diabetes.

4.1.1 Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Kadar Kolesterol

Data kadar kolesterol mencit menunjukkan variasi pada setiap perlakuan, yang mengindikasikan pengaruh dari variasi kerapatan fluks magnet dan durasi perlakuan terhadap kadar kolesterol mencit. Hasil kadar kolesterol dapat dilihat pada tabel 4.1.

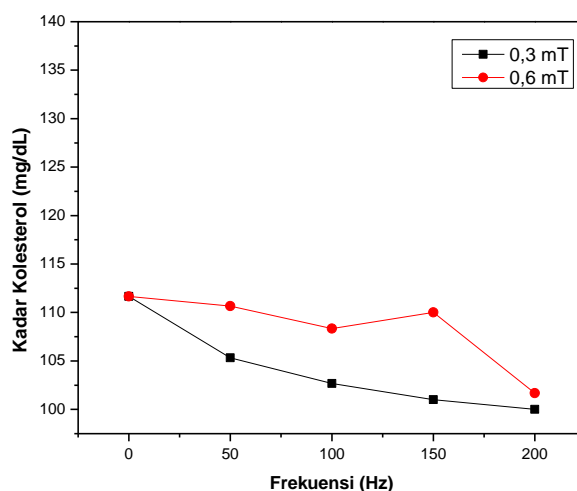
Tabel 4.1 Data Hasil Kadar Kolesterol Mencit

Frekuensi (Hz)	Kerapatan Fluks Magnet (mT)	Kadar Kolesterol (mg/dL)				SD
		1	2	3	Rata-rata	
Kontrol		110	114	111	111,67	2,082
50 Hz	0,3 mT	109	100	107	105,33	4,726
	0,6 mT	114	107	111	110,67	3,512
100 Hz	0,3 mT	100	108	100	102,67	4,619
	0,6 mT	107	104	114	108,33	5,132
150 Hz	0,3 mT	103	100	100	101,00	1,732
	0,6 mT	108	108	114	110,00	3,464
200 Hz	0,3 mT	102	100	100	100,67	1,155
	0,6 mT	100	102	103	101,67	1,528

Berdasarkan hasil penelitian dalam Tabel 4.1, terdapat variasi dalam pengaruh frekuensi dan kerapatan fluks magnet terhadap kadar kolesterol pada mencit. Pada kondisi tanpa frekuensi dan kerapatan fluks magnet, yang biasa

disebut sebagai kelompok kontrol, rata-rata kadar kolesterol mencit adalah 111.67 mg/dL. Pada kelompok perlakuan dengan frekuensi 50 Hz dan kerapatan fluks magnet 0.3 mT, kadar kolesterol rata-rata menurun menjadi 105.33 mg/dL. Namun, pada kerapatan fluks magnet 0.6 mT, kadar kolesterol naik sedikit menjadi 110.67 mg/dL. Ketika frekuensi ditingkatkan menjadi 100 Hz, terdapat penurunan kadar kolesterol dengan rata-rata 102.67 mg/dL pada kerapatan fluks magnet 0.3 mT, dan 108.33 mg/dL pada kerapatan fluks magnet 0.6 mT. Pada kelompok perlakuan dengan frekuensi 150 Hz, rata-rata kadar kolesterol memiliki perbedaan nilai yang tidak terlalu besar. Dimana pada kerapatan fluks magnet 0.3 mT kadar kolesterol rata-rata adalah 101.00 mg/dL, sedangkan pada kerapatan fluks magnet 0.6 mT, kadarnya sedikit mengalami peningkatan menjadi 110.00 mg/dL. Puncak penurunan kadar kolesterol terjadi pada frekuensi 200 Hz dengan rata-rata 100.67 mg/dL pada kerapatan fluks magnet 0.3 mT, dan 101.67 mg/dL pada kerapatan fluks magnet 0.6 mT. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan frekuensi dan kerapatan fluks magnet berpengaruh terhadap penurunan kadar kolesterol pada m e n c i t .

Tabel 4.1 menunjukkan pengaruh frekuensi dan kerapatan fluks magnet terhadap kadar kolesterol mencit. Analisis dari data hasil tersebut dapat pula dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik pengaruh frekuensi dan kerapatan fluks magnet terhadap kadar kolesterol mencit

Pada gambar 4.1 Grafik menunjukkan bahwa penurunan kadar kolesterol berkorelasi dengan peningkatan frekuensi medan magnet yang diberikan. Baik pada tingkat kerapatan fluks magnet 0,3 mT maupun 0,6 mT, terlihat adanya dampak pada penurunan kadar kolesterol. Pada tingkat kerapatan fluks magnet 0,3 mT, terlihat penurunan yang konsisten seiring dengan peningkatan frekuensi, menunjukkan bahwa semakin tinggi frekuensinya, semakin rendah kadar kolesterolnya pada mencit. Sementara pada tingkat kerapatan fluks magnet 0,6 mT kadar kolesterol juga mengalami penurunan. Namun, terjadi sedikit kenaikan pada kelompok perlakuan 150 Hz, kemudian diikuti penurunan drastis yang mana nilainya hampir mendekati nilai pada perlakuan dengan kerapatan fluks magnet 0,3 mT.

Berdasarkan data kadar kolesterol dalam darah mencit setelah dipapari medan magnet yang disajikan pada tabel 4.1. dan gambar 4.1, dilakukan uji statistik *Two Way ANOVA* untuk menganalisis rata-rata pengaruh interaksi antara frekuensi medan magnet dan kerapatan fluks magnet terhadap kadar kolesterol. Hasil uji tersebut akan membantu menentukan apakah terdapat interaksi signifikan antara kedua variabel tersebut dalam mempengaruhi kadar kolesterol pada mencit. Hasil uji statistik tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.2 Hasil Analisis Two Way ANOVA pada Kadar Kolesterol

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Frekuensi	355,800	4	88,950	8,111	0,000
Kerapatan	132,300	1	132,300	12,064	0,002
Frekuensi * Kerapatan	81,533	4	20,383	1,859	0,157
Total	340205,000	30			

Hasil analisis statistik pada tabel 4.2 menunjukkan bahwa frekuensi medan magnet dan kerapatan fluks magnet memiliki pengaruh nyata terhadap penurunan kadar kolesterol, dengan nilai signifikansi 0,000 dan 0,002 ($p < 0,05$). Namun, interaksi antara frekuensi medan magnet dan kerapatan fluks magnet tidak memberikan pengaruh nyata terhadap kadar kolesterol karena nilai signifikansi

0,157 ($p > 0,05$). Untuk melihat perlakuan yang paling efektif berdasarkan frekuensi, dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Uji DMRT Frekuensi Medan Magnet terhadap Kadar Kolesterol

Frekuensi (Hz)	Nilai Subset	Notasi huruf
200 Hz	101,17	a
100 Hz	105,50	ab
150 Hz	105,50	ab
50 Hz	108,00	bc
Kontrol	111,67	c

Berdasarkan hasil uji lanjut *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT), notasi yang mengandung huruf yang sama menunjukkan bahwa perlakuan tersebut tidak berbeda nyata, sedangkan notasi dengan huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan nyata antar perlakuan. Hasil uji menunjukkan bahwa perlakuan dengan frekuensi medan magnet 200 Hz dan kelompok kontrol memiliki notasi yang berbeda, artinya kedua perlakuan tersebut berbeda nyata. Perlakuan dengan frekuensi medan magnet 200 Hz dan 50 Hz juga menunjukkan notasi yang berbeda, yang berarti keduanya berbeda nyata. Perlakuan dengan frekuensi medan magnet 100 Hz dan 150 Hz memiliki notasi "ab," yang menunjukkan bahwa kedua perlakuan tersebut serta perlakuan dengan frekuensi medan magnet 200 Hz (notasi "a") tidak berbeda nyata. Perlakuan dengan frekuensi medan magnet 100 Hz dan 150 Hz juga memiliki notasi "ab," yang menunjukkan bahwa kedua perlakuan tersebut serta perlakuan dengan frekuensi medan magnet 50 Hz (notasi "b") tidak berbeda nyata. Perlakuan dengan frekuensi medan magnet 50 Hz dan kelompok kontrol memiliki notasi yang sama, sehingga kedua perlakuan tersebut tidak berbeda nyata. Dengan demikian, perbedaan signifikan ditunjukkan antara frekuensi-frekuensi tertentu, sementara beberapa lainnya tidak menunjukkan perbedaan nyata.

Pada kadar kolesterol dalam darah, perlakuan yang paling efektif merupakan perlakuan yang menghasilkan kadar kolesterol terkecil. Oleh karena itu, dari hasil analisis menunjukkan bahwa perlakuan yang paling efektif menurunkan kadar kolesterol dalam darah yaitu perlakuan dengan frekuensi medan magnet

sebesar 200 Hz. Hal ini disebabkan oleh medan magnet dapat memengaruhi peningkatan konsentrasi ion kalsium (Ca^{2+}) di dalam sel hati. Medan magnet mempengaruhi saluran ion pada membran sel, meningkatkan konsentrasi Ca^{2+} dalam sitosol sel. Peningkatan Ca^{2+} ini memicu ekspresi gen LDLR yang mengkode reseptor LDL di permukaan sel hati. Reseptor ini mengikat dan menginternalisasi kolesterol LDL dari darah ke dalam sel hati, sehingga menurunkan kadar kolesterol total dan LDL dalam darah. Selain itu, peningkatan Ca^{2+} mendukung aktivasi protein SREBP-2, yang meningkatkan ekspresi gen LDLR dan pengambilan kolesterol LDL, lebih lanjut menurunkan kadar kolesterol dalam darah (Istiqomah et al., 2023).

4.1.2 Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Kadar Hemoglobin Mencit

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh variasi frekuensi dan kerapatan fluks magnet terhadap kadar hemoglobin pada mencit. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat diketahui bagaimana kombinasi frekuensi dan kerapatan fluks magnet tertentu dapat mempengaruhi kadar hemoglobin secara signifikan. Data hasil pengukuran kadar hemoglobin yang diperoleh dari berbagai perlakuan disajikan secara rinci dalam Tabel 4.4.

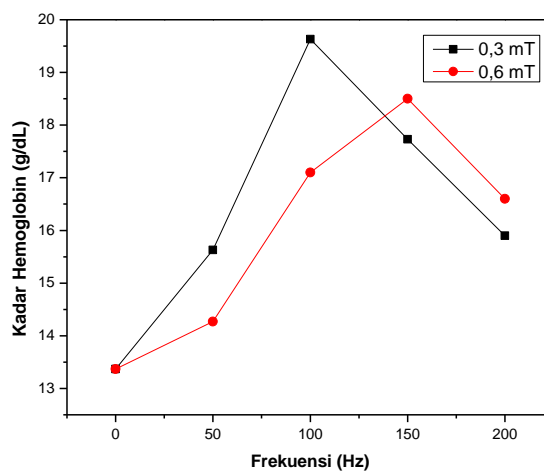
Tabel 4.4 Data Hasil Kadar Hemoglobin Mencit

Frekuensi (Hz)	Kerapatan Fluks Magnet (mT)	Kadar Hemoglobin (g/dL)				SD
		1	2	3	Rata-rata	
Kontrol		13,2	13,6	13,3	13,37	0,208
50 Hz	0,3 mT	15,5	15,4	16	15,63	0,321
	0,6 mT	14,3	14,7	13,8	14,27	0,451
100 Hz	0,3 mT	20,6	19,4	18,9	19,63	0,874
	0,6 mT	16,7	17,8	16,8	17,10	0,608
150 Hz	0,3 mT	17	18,2	18	17,73	0,643
	0,6 mT	18,7	19,1	17,7	18,50	0,721
200 Hz	0,3 mT	16,8	15,4	15,5	15,90	0,781
	0,6 mT	17,4	15,6	16,8	16,60	0,917

Tabel 4.4 menunjukkan bahwa variasi frekuensi dan kerapatan fluks magnet berpengaruh signifikan terhadap kadar hemoglobin pada mencit. Pada

kondisi kontrol, kadar hemoglobin rata-rata adalah 133,7 g/dL. Peningkatan frekuensi dari 50 Hz hingga 150 Hz secara umum meningkatkan kadar hemoglobin, dengan nilai tertinggi dicapai pada frekuensi 100 Hz dan kerapatan 03 mT sebesar 196,3 g/dL. yang kemudian pada frekuensi 200 Hz sedikit mengalami penurunan yang mana nilainya tidak kurang dari nilai dari kelompok kontrol. Namun, peningkatan kerapatan fluks magnet dari 03 mT ke 06 mT tidak selalu meningkatkan kadar hemoglobin, tergantung pada frekuensi yang diterapkan. Misalnya, pada frekuensi 50 Hz dan 100 Hz, peningkatan kerapatan fluks magnet justru menurunkan kadar hemoglobin, sementara pada frekuensi 150 Hz, peningkatan kerapatan fluks magnet meningkatkan kadar hemoglobin dari 177,3 g/dL menjadi 185,0 g/dL.

Pengaruh hubungan frekuensi dan kerapatan fluks magnet dapat di telaah lebih lanjut pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik pengaruh frekuensi dan kerapatan fluks magnet terhadap kadar hemoglobin mencit

Berdasarkan grafik yang terdapat dalam gambar 4.2, terlihat bahwa kadar hemoglobin pada mencit meningkat seiring dengan peningkatan frekuensi dari 0 Hz hingga 200 Hz, namun efek ini bervariasi tergantung pada kerapatan fluks magnet. Pada kerapatan fluks magnet 03 mT, kadar hemoglobin menunjukkan peningkatan signifikan pada frekuensi 100 Hz dan mencapai puncaknya, kemudian sedikit menurun pada frekuensi yang lebih tinggi. Sebaliknya, pada kerapatan fluks magnet 06 mT, kadar hemoglobin cenderung lebih stabil dengan peningkatan yang lebih

moderat yaitu perubahan kadar hemoglobin lebih terkendali dan tidak menunjukkan lonjakan besar melainkan meningkat secara bertahap, dan mencapai puncaknya pada frekuensi 150 Hz sebelum sedikit menurun pada frekuensi 200 Hz. Grafik ini menunjukkan bahwa frekuensi dan kerapatan fluks magnet saling berinteraksi secara kompleks dalam mempengaruhi kadar hemoglobin. Oleh karena itu, untuk mencapai kadar hemoglobin yang maksimal, perlu ditemukan kombinasi yang tepat antara frekuensi dan kerapatan fluks magnet.

Data mengenai kadar hemoglobin dalam darah mencit setelah pemaparan medan magnet, yang tercantum pada tabel 4.4 dan gambar 4.2, dianalisis menggunakan uji statistik Two Way ANOVA. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh rata-rata interaksi antara frekuensi medan magnet dan kerapatan fluks magnet terhadap kadar hemoglobin. Melalui uji statistik ini, dapat ditentukan apakah ada interaksi signifikan antara kedua variabel tersebut dalam memengaruhi kadar hemoglobin pada mencit. Hasil analisis statistik tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.5 Hasil Analisis Two Way ANOVA pada Kadar Hemoglobin

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Frekuensi	107,762	4	26,941	68,902	0,000
Kerapatan	1,776	1	1,776	4,543	0,046
Frekuensi * Kerapatan	12,269	4	3,067	7,844	0,001
Total	8012,550	30			

Uji Two Way ANOVA yang dilakukan pada kadar hemoglobin menunjukkan beberapa hasil yang signifikan. Berdasarkan tabel 4.5 diketahui bahwa frekuensi memiliki pengaruh yang sangat signifikan terhadap kadar hemoglobin dengan signifikansi sebesar 0.000. Ini menunjukkan bahwa variasi frekuensi secara signifikan mempengaruhi kadar hemoglobin. Selain itu, kerapatan fluks magnet juga berpengaruh signifikan dengan nilai Sig. sebesar 0.046. Ini berarti bahwa kerapatan fluks magnet yang berbeda juga mempengaruhi kadar hemoglobin secara signifikan, meskipun pengaruhnya lebih kecil dibandingkan dengan frekuensi. Interaksi antara frekuensi dan kerapatan juga menunjukkan

pengaruh yang signifikan dengan nilai signifikansi sebesar 0.001. Hal ini menunjukkan bahwa secara statistik, kombinasi antara variasi frekuensi dan kerapatan fluks magnet bersama-sama mempengaruhi kadar hemoglobin secara signifikan. Untuk melihat perlakuan yang paling signifikan, maka selanjutnya data diuji dengan uji DMRT.

Tabel 4.6 Hasil Uji DMRT Frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet terhadap Kadar Hemoglobin

Perlakuan	Kadar Hemoglobin (g/dL)	Notasi huruf
Kontrol	13,37	a
50 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,6 mT	14,27	a
50 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,3 mT	15,63	b
200 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,3 mT	15,90	b
200 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,6 mT	16,60	bc
100 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,6 mT	17,10	cd
150 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,3 mT	17,73	de
150 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,6 mT	18,50	e
100 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,3 mT	19,63	f

Terdapat 6 subset yang di hasilkan melalui uji lanjut *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) pada kadar hemoglobin, yaitu a, b, c, d, e, dan f. Berdasarkan tabel 4.6 terlihat bahwa hasil uji DMRT menunjukkan adanya perbedaan signifikan antar perlakuan terhadap kadar hemoglobin pada mencit. Uji ini membandingkan setiap perlakuan dan mengelompokkan mereka berdasarkan perbedaan yang signifikan. Perlakuan kontrol dan perlakuan dengan frekuensi 50 Hz serta kerapatan fluks magnet 0.6 mT masuk dalam kelompok yang sama, diberi notasi "a". menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan antara kadar hemoglobin pada kelompok kontrol dengan perlakuan tersebut. Namun, saat frekuensi tetap di 50 Hz tetapi kerapatan fluks magnet diubah menjadi 0.3 mT, hasilnya menunjukkan perbedaan signifikan yang diindikasikan oleh perubahan notasi huruf menjadi 'b'. Demikian pula, perlakuan dengan frekuensi 200 Hz dan kerapatan fluks magnet 0.3 mT mendapatkan notasi 'b', menunjukkan bahwa kadar hemoglobin pada kelompok ini berbeda signifikan dari kontrol dan dari perlakuan 50 Hz dengan kerapatan 0.6

mT. Kelompok perlakuan dengan frekuensi 200 Hz dan kerapatan fluks magnet 0.6 mT mendapatkan notasi "bc", tidak berbeda nyata dengan perlakuan 200 Hz dan kerapatan fluks magnet 0.3 mT serta 50 Hz dengan kerapatan 0.3 mT.

Perlakuan dengan frekuensi 200 Hz dan kerapatan fluks magnet 0.6 mT juga memberikan pengaruh yang sama dengan frekuensi 100 Hz dan kerapatan fluks magnet 0.6 mT dengan notasi "cd". Begitu pula, perlakuan 100 Hz dan kerapatan fluks magnet 0.6 mT tidak berbeda nyata dengan kelompok frekuensi 150 Hz dengan kerapatan fluks magnet 0.3 mT, yang diberi notasi "de". Kelompok-kelompok perlakuan lainnya menunjukkan pengaruh yang berbeda nyata, seperti perlakuan dengan frekuensi 150 Hz dan kerapatan fluks magnet 0.6 mT yang mendapat notasi 'e', dan perlakuan dengan frekuensi 100 Hz dan kerapatan fluks magnet 0.3 mT yang mendapat notasi 'f', menunjukkan peningkatan signifikan dari kadar hemoglobin dibandingkan dengan perlakuan sebelumnya.

Secara keseluruhan, hasil uji DMRT mengindikasikan bahwa frekuensi dan kerapatan fluks magnet yang lebih tinggi cenderung menghasilkan peningkatan kadar hemoglobin yang signifikan. Perbedaan notasi huruf menunjukkan adanya variasi signifikan antar perlakuan, dengan perlakuan tertentu menunjukkan pengaruh yang lebih kuat terhadap kadar hemoglobin dibandingkan perlakuan lainnya. Frekuensi medan magnet dan kerapatan fluks magnet digunakan untuk meningkatkan kadar hemoglobin, sehingga perlakuan paling efektif diperoleh dengan perlakuan yang memiliki notasi dengan nilai terbesar yaitu "f". Berdasarkan hal ini, maka perlakuan terbaik adalah perlakuan dengan frekuensi 100 Hz dengan kerapatan fluks magnet sebesar 0,3 mT.

4.1.3 Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Kadar Glukosa Darah Mencit

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, data kadar glukosa darah mencit di peroleh sebagaimana yang terlihat pada tabel 4.7. Data hasil pengukuran kadar glukosa darah pada mencit yang terdapat dalam tabel menunjukkan variasi yang signifikan antar subjek percobaan. Pengukuran kadar glukosa darah dilakukan menggunakan metode setrip, di mana ekor mencit terlebih dahulu disterilkan dengan alkohol dan ujungnya dilukai dengan gunting. Darah yang keluar ditetaskan pada setrip uji yang telah terpasang pada alat baca, kemudian mencit kembali

disterilkan dengan alkohol. Nilai uji kadar glukosa darah yang muncul pada alat baca tersebut dicatat untuk memberikan gambaran komprehensif tentang respons glukosa darah mencit terhadap perlakuan atau kondisi tertentu yang diuji dalam penelitian ini.

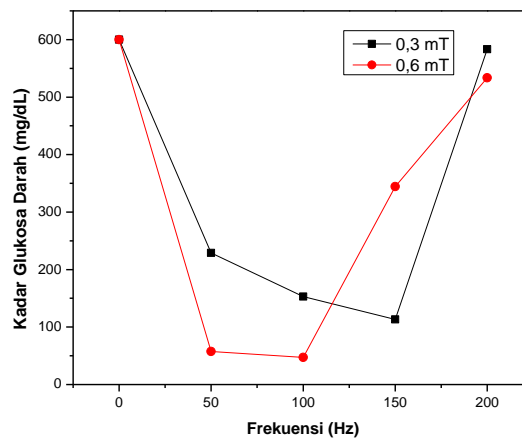
Tabel 4.7 Data Hasil Kadar Glukosa Darah Mencit

Frekuensi (Hz)	Kerapatan Fluks Magnet (mT)	Kadar Glukosa Darah (mg/dL)				SD
		1	2	3	Rata-rata	
Kontrol		600	600	600	600,00	0,000
50 Hz	0,3 mT	223	233	231	229,00	5,292
	0,6 mT	54	61	58	57,67	3,512
100 Hz	0,3 mT	157	149	153	153,00	4,000
	0,6 mT	41	49	52	47,33	5,686
150 Hz	0,3 mT	106	116	118	113,33	6,429
	0,6 mT	353	346	334	344,33	9,609
200 Hz	0,3 mT	591	573	586	583,33	9,292
	0,6 mT	526	537	538	533,67	6,658

Dari Tabel 4.7, terlihat bahwa kadar glukosa darah mencit mengalami perubahan yang signifikan berdasarkan variasi frekuensi dan kerapatan fluks magnet. Pada kondisi tanpa paparan frekuensi dan kerapatan fluks magnet atau yang biasa disebut sebagai kelompok kontrol, kadar glukosa darah mencit berada pada tingkat konstan 600 mg/dL. Namun, ketika mencit dipaparkan pada frekuensi 50 Hz dengan kerapatan fluks magnet 3 mT, kadar glukosa darah menurun drastis menjadi rata-rata 229 mg/dL. Penurunan lebih lanjut terjadi saat kerapatan fluks magnet ditingkatkan menjadi 6 mT, dengan kadar glukosa darah rata-rata sebesar 57,67 mg/dL. Paparan frekuensi yang lebih tinggi, yakni 100 Hz dengan kerapatan fluks magnet 3 mT, menunjukkan kadar glukosa darah mencit pada rata-rata 153 mg/dL, sementara pada kerapatan fluks magnet 6 mT, rata-rata kadar glukosa darah menurun lebih lanjut menjadi 47,33 mg/dL. Pada frekuensi 150 Hz dengan kerapatan fluks magnet 3 mT, kadar glukosa darah rata-rata adalah 113,33 mg/dL

dan meningkat signifikan menjadi 344,33 mg/dL pada kerapatan fluks magnet 6 mT. Terakhir, pada frekuensi 200 Hz dengan kerapatan fluks magnet 3 mT, kadar glukosa darah menciit hampir kembali ke level awal dengan rata-rata 583,33 mg/dL, dan sedikit menurun pada kerapatan fluks magnet 6 mT menjadi 533,67 mg/dL.

Analisis hasil perbandingan perubahan kadar glukosa darah pada menciit dapat terlihat melalui gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik pengaruh frekuensi dan kerapatan fluks magnet terhadap kadar glukosa darah menciit.

Grafik 4.3 mengilustrasikan pengaruh frekuensi dan kerapatan fluks magnet terhadap kadar glukosa darah menciit. Grafik yang ditunjukkan memiliki dua kurva yang mewakili dua kondisi kerapatan fluks magnet yang berbeda, yaitu 0,3 mT (ditandai dengan garis hitam) dan 0,6 mT (ditandai dengan garis merah). Secara umum, terlihat bahwa seiring dengan meningkatnya frekuensi medan magnet, kadar glukosa darah juga mengalami perubahan yang signifikan. Untuk medan magnet dengan kerapatan fluks 0,3 mT, kadar glukosa darah menurun secara signifikan pada frekuensi 50 Hz, lalu tetap menurun stabil hingga frekuensi 150 Hz sebelum kembali naik mendekati nilai awal pada frekuensi 200 Hz. Pola ini membentuk kurva seperti huruf "V". Sedangkan untuk medan magnet dengan kerapatan fluks magnet 0,6 mT, pola serupa terlihat. Namun pada kerapatan fluks magnet ini, kadar glukosa darah menurun drastis dan mulai meningkat dari frekuensi 150 Hz dan cenderung terus meningkat pada frekuensi 200 Hz.

Data mengenai kadar glukosa dalam darah menciit setelah setelah terpapar medan magnet, yang tercantum pada tabel 4.7 dan gambar 4.3, dianalisis

menggunakan uji statistik Two Way ANOVA. Tujuan analisis ini adalah untuk menilai pengaruh interaksi rata-rata antara frekuensi medan magnet dan kerapatan fluks magnet terhadap kadar glukosa darah. Melalui uji statistik ini, dapat dipastikan apakah terdapat interaksi yang signifikan antara kedua variabel tersebut dalam memengaruhi kadar glukosa darah pada mencit. Hasil dari analisis statistik ini dapat ditemukan dalam tabel yang disajikan berikut:

Tabel 4. 8 Hasil Analisis Two Way ANOVA pada Kadar Glukosa Darah

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Frekuensi	1337647,667	4	334411,917	9473,425	0,000
Kerapatan	2745,633	1	2745,633	77,780	0,000
Frekuensi * Kerapatan	141776,867	4	35444,217	1004,085	0,000
Total	4674417,000	30			

Berdasarkan analisis data statistik menggunakan SPSS dengan uji Two Way ANOVA untuk kadar glukosa menunjukkan bahwa variabel frekuensi memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar glukosa darah mencit dengan nilai signifikansi 0,00 ($p < 0,05$). Untuk variabel kerapatan fluks magnet dan interaksi antara frekuensi dan kerapatan medan magnet juga menunjukkan hasil yang signifikan dengan nilai signifikansi sebesar 0,00 ($p < 0,00$). Sehingga dapat disimpulkan bahwa baik secara individu maupun interaksi antara kedua variabel tersebut, semuanya memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar glukosa darah pada mencit dan diperlukan uji lanjut. Untuk membandingkan rata-rata dari masing-masing kelompok data maka selanjutnya di lakukan uji DMRT. Berikut merupakan hasil uji DMRT untuk mengetahui pengaruh perlakuan frekuensi dan kerapatan fluks magnet yang paling signifikan.

Dari hasil uji DMRT, dapat dilihat bahwa kadar glukosa berbeda secara signifikan antara berbagai kombinasi frekuensi dan kerapatan fluks magnet. Kelompok perlakuan dengan frekuensi 100 Hz dan kerapatan fluks magnet 0,6 mT menghasilkan kadar glukosa terendah, yaitu 47,33 mg/dL, yang diberi notasi huruf 'a'. Sebaliknya, pada kelompok kontrol memberikan kadar glukosa tertinggi, yaitu masing-masing sebesar 600,00 mg/dL, dan diberi notasi huruf 'i'. Kelompok

perlakuan lain menunjukkan nilai yang bervariasi dengan notasi huruf yang berbeda, mengindikasikan perbedaan signifikan antara kelompok tersebut.

Tabel 4.9 Hasil Uji DMRT Frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Kadar Glukosa Darah

Perlakuan	Kadar Glukosa (mg/dL)	Notasi huruf
100 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,6 mT	47,33	a
50 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,6 mT	57,67	b
150 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,3 mT	113,33	c
100 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,3 mT	153,00	d
50 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,3 mT	229,00	e
150 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,6 mT	344,33	f
200 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,6 mT	533,67	g
200 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,3 mT	583,33	h
Kontrol	600,00	i

Pada kadar glukosa darah, perlakuan yang paling efektif dalam menurunkan kadar glukosa darah adalah yang menghasilkan kadar glukosa darah paling rendah. Hasil analisis menunjukkan bahwa perlakuan dengan frekuensi 100 Hz dan kerapatan fluks magnet 0,6 mT merupakan yang paling efektif dalam menurunkan kadar glukosa darah.

4.1.4 Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Viskositas Darah Mencit

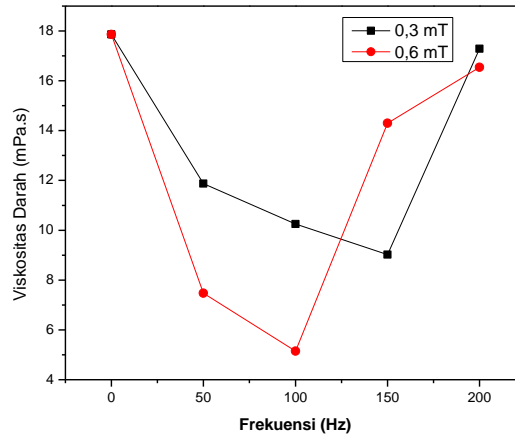
Pengukuran viskositas darah dilakukan dengan menggunakan hematokrit, yang merupakan persentase perbandingan antara tinggi lapisan sel darah merah dan tinggi total sel darah dalam tabung Appendorf. Setelah persentase hematokrit diperoleh, nilai tersebut kemudian dimasukkan ke dalam persamaan yang dihasilkan dari grafik yang menunjukkan pengaruh persentase hematokrit terhadap viskositas darah. Proses ini dilakukan untuk mendapatkan nilai viskositas darah yang sebenarnya. Hasil pengukuran viskositas darah pada mencit tersebut dapat dilihat secara rinci pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Data Hasil Viskositas Darah Mencit

Frekuensi (Hz)	Kerapatan Fluks Magnet (mT)	Viskositas Darah (mPa.s)				SD
		1	2	3	Rata-rata	
Kontrol		17,87	17,35	18,35	17,86	0,500
50 Hz	0,3 mT	11,77	11,44	12,40	11,87	0,488
	0,6 mT	6,99	7,55	7,86	7,47	0,441
100 Hz	0,3 mT	10,87	10,26	9,62	10,25	0,625
	0,6 mT	5,86	5,29	4,31	5,15	0,784
150 Hz	0,3 mT	8,47	9,62	8,96	9,02	0,577
	0,6 mT	14,93	13,68	14,29	14,30	0,625
200 Hz	0,3 mT	17,35	18,35	16,17	17,29	1,094
	0,6 mT	15,48	17,35	16,78	16,54	0,958

Berdasarkan data yang disajikan dalam Tabel 3.4, terlihat bahwa viskositas darah mencit menunjukkan variasi yang signifikan tergantung pada frekuensi dan kerapatan fluks magnet yang diterapkan. Pada kondisi kontrol, viskositas darah rata-rata adalah 17,86 mPa.s. Penerapan perlakuan dengan frekuensi 50 Hz dan kerapatan fluks magnet 0,3 mT menyebabkan penurunan viskositas darah rata-rata menjadi 11,87 mPa.s, dan mengalami penurunan lebih lanjut menjadi 7,47 mPa.s pada kerapatan fluks magnet 0,6 mT. Pada frekuensi 100 Hz dan kerapatan fluks magnet 0,3 mT, viskositas darah rata-rata adalah 10,25 mPa.s, dan pada kerapatan fluks magnet 0,6 mT menjadi 5,15 mPa.s. Frekuensi 150 Hz dengan kerapatan fluks magnet 0,3 mT menghasilkan viskositas darah rata-rata 9,02 mPa.s, sementara pada kerapatan fluks magnet 0,6 mT meningkat menjadi 14,30 mPa.s. Terakhir, pada frekuensi 200 Hz viskositas darah meningkat pada kerapatan fluks magnet 0,3 mT menjadi rata-rata 17,29 mPa.s, dan pada kerapatan fluks magnet 0,6 mT menjadi 16,54 mPa.s. Data ini menunjukkan bahwa baik frekuensi maupun kerapatan fluks magnet memiliki pengaruh signifikan terhadap viskositas darah mencit.

Analisis hasil perbandingan perubahan viskositas darah pada mencit dapat terlihat melalui gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik pengaruh frekuensi dan kerapatan fluks magnet terhadap viskositas darah mencit

Grafik yang di sajikan dalam gambar 4.4 memperlihatkan perubahan viskositas darah mencit terhadap frekuensi dengan dua kerapatan fluks magnet yang berbeda, yaitu 3 mT dan 0,6 mT. Secara umum, grafik menunjukkan bahwa viskositas darah berkurang seiring dengan peningkatan frekuensi pada kerapatan fluks magnet yang lebih rendah (0,3 mT), dan menunjukkan variasi yang lebih kompleks pada kerapatan fluks magnet yang lebih tinggi (0,6 mT).

Pada kerapatan fluks magnet 0,3 mT, viskositas darah mencit awalnya tinggi pada kelompok kontrol dengan nilai rata-rata sekitar 17,86 mPa.s. Ketika frekuensi meningkat menjadi 50 Hz, viskositas darah menurun signifikan hingga sekitar 11,87 mPa.s. pada frekuensi 100 Hz, viskositas darah terus menurun menjadi sekitar 10,25 mPa.s, dan terus mengalami penurunan menjadi 9,02 mPa.s pada frekuensi 150 Hz. Namun, peningkatan frekuensi hingga 200 Hz menyebabkan viskositas darah meningkat kembali hingga mencapai 17,29 mPa.s mendekati nilai awal.

Adapun pada kerapatan fluks magnet 0,6 mT, viskositas darah juga mulai dari nilai tinggi sekitar 17,86 mPa.s pada kelompok kontrol, kemudian turun tajam menjadi sekitar 7,47 mPa.s pada frekuensi 50 Hz. Pada frekuensi 100 Hz, viskositas darah lebih rendah lagi, mencapai sekitar 5,15 mPa.s. Namun, terjadi peningkatan viskositas darah menjadi sekitar 14,30 mPa.s pada frekuensi 150 Hz, dan terus naik

menjadi 16,54 mPa.s pada frekuensi 200 Hz. Grafik ini menunjukkan pola penurunan viskositas darah yang signifikan pada frekuensi rendah hingga menengah, dengan peningkatan kembali pada frekuensi tinggi, terutama pada kerapatan fluks magnet 0,6 mT. Hal ini mengindikasikan bahwa pengaruh medan magnet terhadap viskositas darah tidak hanya bergantung pada frekuensi, tetapi juga pada kerapatan fluks magnet yang diterapkan. Fluktuasi ini mungkin disebabkan oleh interaksi antara fluks magnet dan komponen seluler serta molekuler dalam darah, yang mempengaruhi aliran dan viskositas darah secara kompleks.

Berdasarkan data yang telah di dapatkan, analisis dilakukan menggunakan SPSS. Data dianalisis menggunakan uji statistik Two Way ANOVA. Tujuan analisis ini adalah untuk menilai pengaruh interaksi rata-rata antara frekuensi medan magnet dan kerapatan fluks magnet terhadap viskositas darah. Melalui uji statistik ini, dapat dipastikan apakah terdapat interaksi yang signifikan antara kedua variabel tersebut dalam memengaruhi viskositas darah pada mencit. Hasil dari analisis statistik ini dapat ditemukan dalam tabel yang disajikan berikut:

Tabel 4.11 Hasil Analisis Two Way ANOVA pada Viskositas Darah

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Frekuensi	477,510	4	119,377	250,210	0,000
Kerapatan	7,410	1	7,410	15,532	0,001
Frekuensi * Kerapatan	103,359	4	25,840	54,159	0,000
Total	5482,095	30			

Hasil uji Two Way Anova menunjukkan bahwa faktor frekuensi dan kerapatan fluks magnet, serta interaksi antara keduanya, memiliki pengaruh yang signifikan terhadap viskositas darah. Faktor frekuensi memberikan pengaruh yang signifikan dengan nilai signifikansi 0,000 ($p < 0,005$), yang menunjukkan bahwa perubahan dalam frekuensi secara statistik mempengaruhi viskositas darah. Demikian juga, faktor kerapatan fluks magnet memberikan pengaruh signifikan dengan nilai signifikansi 0,001, menunjukkan bahwa perubahan dalam kerapatan fluks magnet juga secara statistik mempengaruhi viskositas darah. Selain itu,

interaksi antara frekuensi dan kerapatan fluks magnet menunjukkan pengaruh yang sangat signifikan terhadap viskositas darah dengan nilai signifikansi 0,000. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi dari kedua faktor ini memiliki efek gabungan yang signifikan terhadap viskositas darah. Untuk membandingkan rata-rata dari masing-masing kelompok data maka selanjutnya di lakukan uji DMRT. Berikut merupakan hasil uji DMRT untuk mengetahui pengaruh perlakuan frekuensi dan kerapatan fluks magnet yang paling signifikan.

Tabel 4.12 Hasil Uji DMRT Frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet terhadap Viskositas Darah

Perlakuan	Viskositas Darah (mPa.s)	Notasi huruf
100 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,6 mT	5,15	a
50 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,6 mT	7,47	b
150 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,3 m	9,02	c
100 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,3 mT	10,25	d
50 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,3 mT	11,87	e
150 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,6 mT	14,30	f
200 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,6 mT	16,54	g
200 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,3 mT	17,29	gh
Kontrol	17,86	h

Hasil uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) menunjukkan perbedaan signifikan dalam viskositas darah berdasarkan perlakuan yang berbeda, dengan penandaan notasi huruf untuk menunjukkan kelompok yang berbeda secara statistik. Perlakuan yang memiliki notasi huruf yang sama menandakan bahwa tidak ada perbedaan signifikan dalam viskositas darah di antara perlakuan-perlakuan tersebut, sementara perlakuan dengan notasi huruf yang berbeda menunjukkan perbedaan signifikan. Perlakuan dengan frekuensi 100 Hz dan kerapatan fluks magnet 0.6 mT memiliki viskositas terendah sebesar 5,15 mPa.s, yang diberi notasi huruf "a". Menunjukkan bahwa perlakuan ini menghasilkan viskositas yang secara signifikan lebih rendah di bandingkan perlakuan lainnya. Perlakuan dengan frekuensi 50 Hz dan kerapatan fluks magnet 0,6 mT memiliki notasi "b" membentuk kelompok yang secara signifikan berbeda dari perlakuan dengan notasi

“a”. Perlakuan dengan frekuensi 150 Hz dan kerapatan fluks magnet 0,3 mT memiliki notasi “c” membentuk kelompok yang berbeda dari a” dan “b”, menunjukkan adanya peningkatan viskositas darah yang signifikan.

Perlakuan dengan frekuensi 100 Hz dan kerapatan fluks magnet 0.3 mT memiliki notasi "d" dan perlakuan dengan frekuensi 50 Hz dan kerapatan fluks magnet 0.3 mT memiliki notasi “e”, hal ini menunjukkan peningkatan viskositas darah secara bertahap dan masing-masing membentuk kelompok yang berbeda. Perlakuan dengan frekuensi 150 Hz dan kerapatan fluks magnet 0.6 mT (notasi "f") dan perlakuan dengan frekuensi 200 Hz dan kerapatan fluks magnet 0.6 mT (notasi "g") menunjukkan viskositas darah yang lebih tinggi, masing-masing membentuk kelompok yang berbeda dari sebelumnya. Perlakuan dengan frekuensi 200 Hz dan kerapatan fluks magnet 0.3 mT memiliki notasi "gh" menunjukkan viskositas yang lebih tinggi, mendekati nilai kontrol, yang berarti tidak berbeda signifikan dengan kelompok kontrol. Kelompok kontrol yang dinotasikan dengan huruf "h" yang tidak mengalami perlakuan apapun memiliki viskositas tertinggi, menunjukkan perbedaan signifikan dari semua perlakuan lainnya. Pada viskositas darah, perlakuan paling efektif dapat dilihat dari nilai subset terkecil. Sehingga dengan melihat uji DMRT yang dilakukan diketahui bahwa perlakuan dengan frekuensi 100 Hz dan kerapatan fluks magnet 0,6 mT merupakan perlakuan yang paling efektif untuk menurunkan viskositas darah.

4.1.5 Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Jumlah Eritrosit Mencit

Data jumlah eritrosit mencit menunjukkan perbedaan pada masing-masing perlakuan. Dimana hal ini memperlihatkan pengaruh dari variasi tegangan dan waktu perlakuan terhadap jumlah eritrosit mencit. Hasil jumlah eritrosit mencit dapat dilihat pada tabel 4.13.

Berdasarkan tabel 4.13 mengenai data hasil jumlah eritrosit dalam darah mencit, terlihat adanya pengaruh frekuensi dan kerapatan fluks magnet terhadap jumlah eritrosit. Pada kelompok kontrol, rerata jumlah eritrosit adalah $1,46 \times 10^6 / \text{mm}^3$ sel. Ketika frekuensi medan magnet di tingkatkan menjadi 50 Hz dengan kerapatan fluks magnet 0,3 mT, jumlah eritrosit meningkat signifikan menjadi $2,57 \times 10^6 / \text{mm}^3$ sel. Peningkatan lebih lanjut terlihat pada frekuensi 100 Hz

dan kerapatan fluks magnet 0,3 mT serta 0,6 mT, dengan rerata jumlah eritrosit masing-masing sebesar $3,85 \times 10^6/\text{mm}^3$ dan $4,51 \times 10^6/\text{mm}^3$ sel. Pada frekuensi 150 Hz dan kerapatan fluks magnet 0,6 mT, jumlah eritrosit mencapai puncaknya dengan nilai rata-rata $6,14 \times 10^6/\text{mm}^3$ sel.

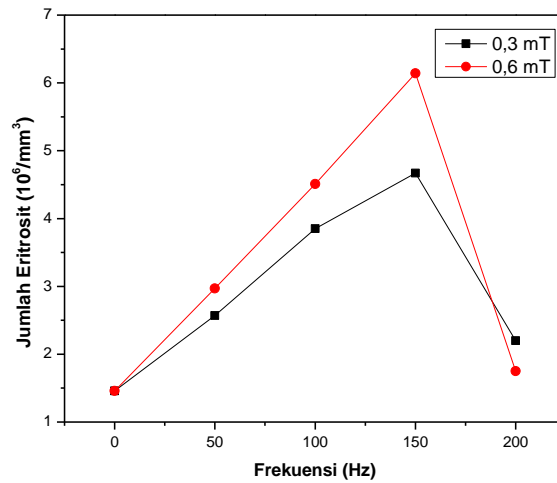
Tabel 4.13 Data Hasil Jumlah Eritrosit Mencit

Frekuensi (Hz)	Kerapatan Fluks Magnet (mT)	Jumlah Eritrosit ($10^6/\text{mm}^3$)				SD
		1	2	3	Rata-rata	
Kontrol		1,52	1,48	1,37	1,46	0,078
50 Hz	0,3 mT	2,61	2,67	2,42	2,57	0,131
	0,6 mT	2,78	3,43	2,69	2,97	0,404
100 Hz	0,3 mT	4,14	3,61	3,79	3,85	0,270
	0,6 mT	4,61	4,67	4,25	4,51	0,227
150 Hz	0,3 mT	4,87	4,57	4,57	4,67	0,173
	0,6 mT	6,72	5,99	5,71	6,14	0,521
200 Hz	0,3 mT	2,06	2,35	2,20	2,20	0,145
	0,6 mT	1,69	1,74	1,82	1,75	0,066

Namun, pada frekuensi 200 Hz, terdapat penurunan signifikan dalam jumlah eritrosit baik pada kerapatan fluks magnet 0,3 mT maupun 0,6 mT, dengan nilai rerata masing-masing sebesar $2,20 \times 10^6/\text{mm}^3$ sel dan $1,75 \times 10^6/\text{mm}^3$ sel. Penurunan ini menunjukkan bahwa peningkatan frekuensi hingga 200 Hz memberikan efek negatif terhadap jumlah eritrosit. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan frekuensi dan kerapatan fluks magnet tertentu dapat meningkatkan jumlah eritrosit dalam darah mencit, tetapi pada frekuensi yang terlalu tinggi, jumlah eritrosit justru menurun.

Pengaruh hubungan frekuensi dan kerapatan fluks magnet pada jumlah eritrosit dalam darah mencit dapat ditelaah lebih lanjut pada gambar 4.5. Grafik yang ada pada gambar tersebut menunjukkan hubungan antara frekuensi medan magnet, kerapatan fluks magnet, dan jumlah eritrosit. Terlihat bahwa jumlah eritrosit meningkat seiring dengan peningkatan frekuensi dan kerapatan fluks

magnet hingga mencapai puncaknya pada frekuensi 150 Hz dengan kerapatan fluks magnet 0,6 mT. Namun, pada frekuensi 200 Hz, jumlah eritrosit menurun signifikan pada kedua kerapatan fluks magnet yang diuji, menunjukkan bahwa ada batas optimal frekuensi dan kerapatan fluks magnet untuk meningkatkan jumlah eritrosit dalam darah mencit.



Gambar 4.5 Grafik pengaruh frekuensi dan kerapatan fluks magnet terhadap jumlah eritrosit dalam darah mencit.

Data yang diperoleh, selanjutnya diuji dengan analisis Two Way ANOVA yang dilakukan untuk menilai pengaruh interaksi rata-rata antara frekuensi medan magnet dan kerapatan fluks magnet terhadap jumlah eritrosit dalam darah mencit. Melalui uji statistik ini, dapat dipastikan apakah terdapat interaksi yang signifikan antara kedua variabel tersebut dalam memengaruhi jumlah eritrosit dalam darah pada mencit. Hasil dari analisis statistik ini dapat ditemukan dalam tabel yang disajikan berikut:

Tabel 4.14 Hasil Analisis Two Way ANOVA pada Jumlah Eritrosit

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Frekuensi	63,200	4	15,800	245,493	0,000
Kerapatan	1,298	1	1,298	20,167	0,000
Frekuensi * Kerapatan	3,152	4	,788	12,243	0,000
Total	367,873	30			

Hasil uji statistik Two Way ANOVA untuk jumlah eritrosit menunjukkan bahwa ada pengaruh yang signifikan dari faktor frekuensi dan kerapatan fluks magnet terhadap jumlah eritrosit. Dari hasil analisis, diperoleh nilai signifikansi untuk faktor frekuensi adalah $p < 0,005$, yang berarti bahwa perbedaan antar level frekuensi berpengaruh signifikan terhadap jumlah eritrosit. Begitu pula dengan faktor kerapatan fluks magnet, nilai signifikansi yang diperoleh adalah 0.000, menunjukkan bahwa variasi dalam kerapatan fluks magnet juga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap jumlah eritrosit. Selain itu, interaksi antara frekuensi dan kerapatan fluks magnet juga menunjukkan hasil yang signifikan dengan nilai signifikansi 0.000 ($p < 0,005$), menandakan bahwa kombinasi antara kedua faktor tersebut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap jumlah eritrosit yang dihasilkan. Untuk mengetahui pengaruh frekuensi dan kerapatan fluks magnet yang paling efektif, maka diperlukan uji lanjut dengan uji DMRT.

Tabel 4.15 Hasil Uji DMRT Frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet terhadap Jumlah Eritrosit

Perlakuan	Jumlah Eritrosit ($10^6/mm^3$)	Notasi huruf
Kontrol	1,46	a
200 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,6 mT	1,75	a
200 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,3 mT	2,20	b
50 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,3 mT	2,57	bc
50 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,6 mT	2,97	c
100 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,3 mT	3,85	d
100 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,6 mT	4,51	e
150 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,3 mT	4,67	e
150 Hz dengan kerapatan Fluks magnet 0,6 mT	6,14	f

Hasil uji *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) menunjukkan adanya perbedaan signifikan pada jumlah eritrosit antar kelompok perlakuan. Kelompok kontrol dengan rata-rata jumlah eritrosit $1,46 \times 10^6/mm^3$ sel berada di subset pertama dengan notasi "a", menunjukkan bahwa jumlah eritrosit pada kelompok ini secara signifikan lebih rendah dibandingkan kelompok lainnya. Ketika medan magnet diterapkan pada frekuensi 200 Hz dengan kerapatan fluks magnet 0,6 mT, jumlah

eritrosit meningkat menjadi $1,75 \times 10^6/\text{mm}^3$ sel namun masih dalam notasi yang sama yakni “a”, menandakan bahwa peningkatan tidak signifikan dengan kelompok kontrol atau dengan kata lain kedua kelompok tersebut tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Namun, pada frekuensi 200 Hz dengan kerapatan fluks magnet 0,3 Mt, terjadi peningkatan jumlah eritrosit yang lebih besar dan memiliki notasi “b”, menunjukkan bahwa perubahan kerapatan fluks magnet pada frekuensi ini mulai memberikan efek signifikan. Perlakuan dengan frekuensi 50 Hz dan kerapatan fluks magnet 0,3 mT menghasilkan notasi “bc”, yang menunjukkan adanya peningkatan lebih lanjut meskipun tidak terlalu signifikan dengan perlakuan sebelumnya.

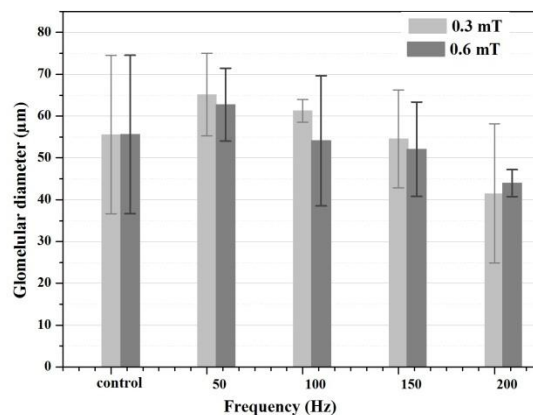
Perubahan signifikan lebih jelas terlihat pada perlakuan dengan frekuensi 50 Hz dan kerapatan fluks magnet 0,6 mT, dimana jumlah eritrosit mencapai $2,97 \times 10^6/\text{mm}^3$ sel dengan notasi “c”. Semakin tinggi frekuensi dan kerapatan fluks magnet yang diterapkan, seperti pada 100 Hz dengan kerapatan fluks magnet 0,3 mT dan 0,6 mT, jumlah eritrosit meningkat signifikan dengan dinotasikan “d” dan “e” masing-masing.

Frekuensi 150 Hz dengan kerapatan fluks magnet 0,3 mT menghasilkan jumlah eritrosit yang hampir sama dengan perlakuan 100 Hz dan kerapatan fluks magnet 0,6 mT yaitu dengan notasi “e”. Perlakuan terakhir dengan frekuensi 150 Hz dan kerapatan fluks magnet 0,6 mT menunjukkan peningkatan tertinggi jumlah eritrosit yang dinotasikan dengan huruf “f”, menunjukkan perbedaan pengaruh paling signifikan dari semua perlakuan yang diterapkan.

Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa hubungan positif antara frekuensi dan kerapatan fluks magnet dengan jumlah eritrosit. Semakin tinggi frekuensi dan kerapatan fluks magnet yang diterapkan, semakin besar pula peningkatan jumlah eritrosit yang terjadi, yang terbukti dari perbedaan notasi huruf yang semakin menjauh dari kelompok kontrol. Pada jumlah eritrosit dalam sel darah mencit, perlakuan yang paling efektif dapat dilihat dari nilai subset terbesar. Sehingga dengan melihat uji DMRT yang dilakukan, diketahui bahwa perlakuan dengan frekuensi 150 Hz dan kerapatan fluks magnet 0,6 mT memiliki efektifitas yang tinggi untuk meningkatkan jumlah eritrosit dalam darah.

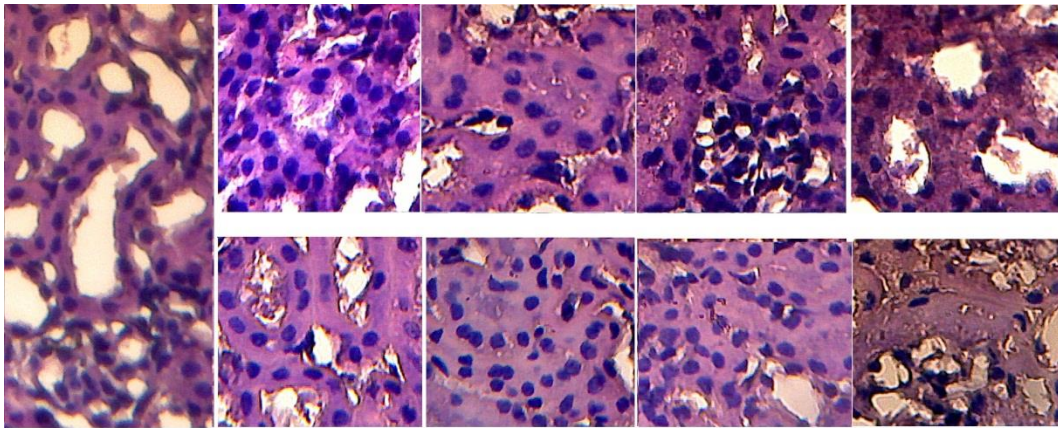
4.1.6 Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Diameter Glomerulus

Glomerulus merupakan struktur ginjal yang bertugas menyaring limbah dan racun dari darah, serta membuang cairan berlebihan dari tubuh. Diameter glomerulus mengalami perubahan akibat paparan medan magnet. Paparan medan magnet dengan kerapatan fluks magnet 0,3 mT dengan frekwensi 50 Hz dan 100 Hz serta 0,6 mT dengan frekwensi 50 Hz memperbesar diameter glomerulus yaitu dari $55.53 \pm 18.95 \mu\text{m}$ berturut-turut menjadi $65.13 \pm 9.89 \mu\text{m}$, $61.27 \pm 2.73 \mu\text{m}$, dan $62.67 \pm 8.74 \mu\text{m}$. Sementara itu diameter terendah diperoleh dari paparan medan megnet dengan kerapatan fluks magnet 0,3 mT dan frekwensi 50 Hz yaitu $41.47 \pm 16.64 \mu\text{m}$. Akan tetapi hasil uji statistik perbedaannya tidak signifikan. Perubahan diameter Glomerulus signifikan terjadi pada paparan dengan kerapatan fluks magnet 0,3 mT dan frekwensi 50 Hz.



Gambar 7. Diameter glamolurus ginjal mencit yang dipapari medan magnet dengan dengan frekwensi 50-200 Hz

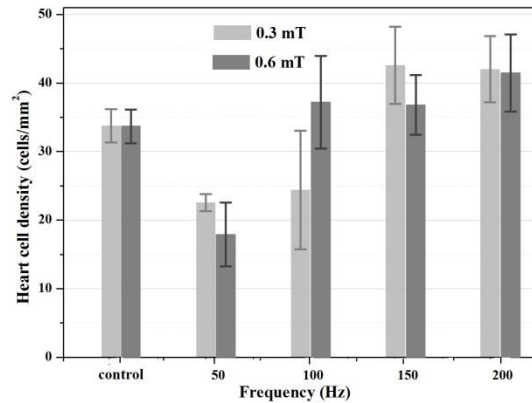
Histologi ginjal



Gambar 8. Histologi ginjal mencit yang dipapari medan magnet dengan frekwensi 50-200 Hz

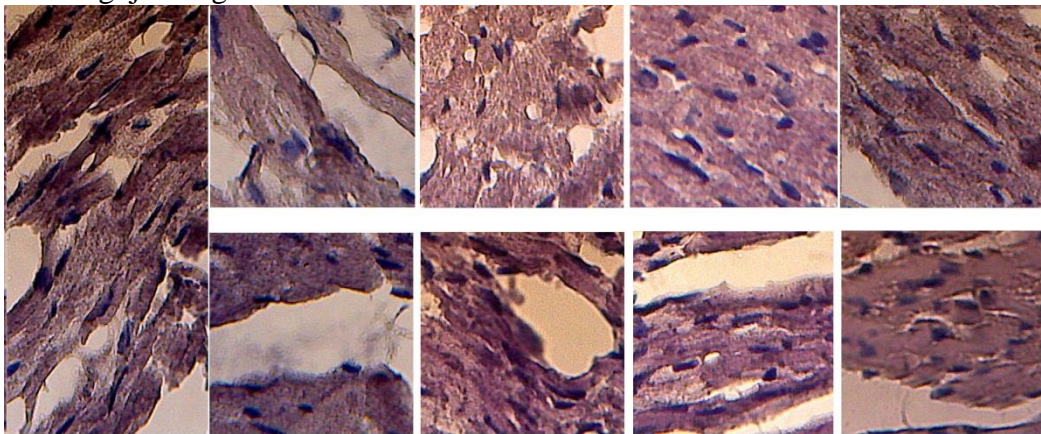
4.1.7 Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Kepadatan sel otot jantung

Otot jantung menjadi bagian jantung yang membantu melancarkan proses sirkulasi darah pada tubuh. Inti sel atau nukleus, yang merupakan pusat kontrol sel yang berisikan materi genetik. Kepadatan into sel jantung dipengaruhi oleh paparan medan magnet. Jantung dari mencit yang terkena diabetes memiliki kepadatan inti sel sebesar 33.75 ± 2.45 intisel/ μm^2 . Paparan medan magnet dengan kerapatan fluks 0,3 mT dan frekwensi 50, 100, 150, 200 Hz berturut-turut berubah menjadi 22.56 ± 1.23 ; 24.40 ± 8.65 ; 42.59 ± 5.63 ; dan 42.02 ± 4.84 intisel/ μm^2 . Sementara itu paparan dengan kerapatan fluks magnet 0,6 mT berturut-turut berubah menjadi 17.98 ± 4.65 ; 37.27 ± 6.79 ; 36.86 ± 4.36 ; dan 41.53 ± 5.63 intisel/ μm^2 . Perubahan frekwensi medan magnet signifikan ($p \leq 0,05$) mempengaruhi jumlah intisel.



Gambar 9. Kepadatan sel pada jantung mencit yang dipapari medan magnet dengan frekwensi 50-200 Hz

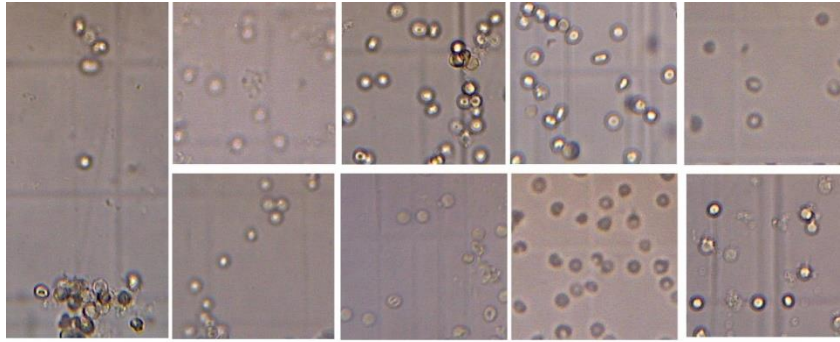
Histologi jantung



Gambar 10. Histologi ginjal mencit yang dipapari medan magnet dengan frekwensi 50-200 Hz

4.1.8 Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Histologi eritrosit

Kondisi eritrosit pada setiap paparan berbeda, khususnya pada sisi penggumpalan dan keberadaan unsur lainnya. Kondisi paling optimum yaitu jumlah sel yang menggumpal dan keberadaan unsur lain paling rendah didapat pada paparan dengan frekwensi 200 Hz dan kerapatan fluks magnet 0,3 mT. Sedangkan kondisi sel yang paling banyak menggumpal dan unsur lain adalah paparan dengan frekwensi 50 Hz dan kerapatan magnet 0,6 mT.



Gambar 8. Histologi eritrosit darah mencit yang dipapari medan magnet dengan frekwensi 50-200 Hz

4.2. Pembahasan

4.2.1 Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Kadar Kolesterol Mencit

Pada penelitian ini, mencit menjalani proses aklimatisasi selama tujuh hari sebelum menerima paparan medan magnet sesuai dengan kelompok eksperimen masing-masing. Pada hari kelima setelah paparan, kadar kolesterol mencit diukur. Pengukuran kadar kolesterol dilakukan menggunakan metode strip, di mana sampel darah mencit diambil dari bagian ekor kemudian diteteskan pada strip kolesterol yang kemudian dibaca menggunakan alat baca berupa Multicare in Multi Parameter. Data kadar kolesterol ini diambil pada hari terakhir paparan untuk dianalisis lebih lanjut, dan hasilnya menunjukkan bahwa terjadi penurunan kadar kolesterol pada semua kelompok perlakuan.

Mencit jantan memiliki kadar kolesterol normal antara 40-130 mg/dL (Dwi Djajanti et al., 2023). Berdasarkan rentang normal ini, hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan kadar kolesterol yang terjadi masih dalam batas normal, sehingga setiap kelompok perlakuan aman untuk diterapkan. Kelompok mencit tanpa perlakuan memiliki kadar kolesterol rata-rata 111,67 mg/dL. Saat frekuensi meningkat menjadi 50 Hz, kadar kolesterol menurun. Pada kerapatan fluks magnet 0,3 mT, kadar kolesterol rata-rata turun menjadi 105,33 mg/dL, dan pada kerapatan fluks magnet 0,6 mT, kadar kolesterol rata-rata menjadi 110,67 mg/dL, yang masih lebih baik daripada kelompok tanpa perlakuan meskipun penurunannya tidak terlalu besar. Penurunan kadar kolesterol paling signifikan

terjadi pada frekuensi 200 Hz, dengan rata-rata 100,67 mg/dL pada kerapatan fluks magnet 0,3 mT, dan 101,67 mg/dL pada kerapatan fluks magnet 0,6 mT. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan dengan medan magnet pada frekuensi 200 Hz dan kerapatan fluks magnet 0,3 mT adalah yang paling efektif untuk menurunkan kadar kolesterol dalam darah. Temuan ini mengindikasikan bahwa medan magnet dapat menjadi pilihan terapi non-farmakologi yang efektif untuk menurunkan kadar kolesterol dalam darah.

Medan magnet dapat menurunkan kadar kolesterol melalui serangkaian mekanisme biologis yang melibatkan perubahan konsentrasi ion kalsium (Ca^{2+}) di dalam sel, ekspresi gen, dan aktivitas protein yang berkaitan dengan metabolisme lipid. Ketika sel-sel hati terpapar medan magnet, terjadi peningkatan konsentrasi ion Ca^{2+} di dalam sitosol sel karena medan magnet mempengaruhi saluran ion pada membran sel. Peningkatan konsentrasi Ca^{2+} ini sangat penting karena Ca^{2+} berfungsi sebagai sinyal dalam berbagai proses seluler, termasuk regulasi ekspresi gen dan aktivitas protein yang berhubungan dengan metabolisme kolesterol. Salah satu gen yang terpengaruh adalah gen LDLR (Low-Density Lipoprotein Receptor) yang mengkode reseptor LDL yang berada di permukaan sel hati. Reseptor LDL bertugas mengikat dan menginternalisasi kolesterol LDL dari darah ke dalam sel hati melalui proses endositosis. Setelah masuk ke dalam sel, kolesterol dapat disimpan atau digunakan untuk kebutuhan seluler. Peningkatan ekspresi gen LDLR, berarti lebih banyak reseptor LDL tersedia, sehingga lebih banyak pengangkutan kolesterol LDL yang diambil dari darah ke dalam sel hati, sehingga dapat menurunkan kadar kolesterol total dan LDL dalam darah. Aktivasi protein SREBP-2 (Sterol Regulatory Element-Binding Protein 2) juga memainkan peran kunci dalam proses ini. SREBP-2 adalah faktor transkripsi yang mengatur sintesis kolesterol dan ekspresi gen reseptor LDL (gen LDLR). Peningkatan ion Ca^{2+} yang optimal mendukung aktivasi SREBP-2, yang meningkatkan ekspresi gen LDLR dan pengambilan kolesterol LDL dari darah, yang pada akhirnya menurunkan kadar kolesterol dalam darah (Istiqomah et al., 2023).

Penelitian lain yang dilakukan oleh Luo et al., (2017) mengeksplorasi efek medan magnet berfrekuensi 50 Hz dengan kerapatan fluks magnet 500 μT pada tikus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tikus yang terpapar medan magnet

tersebut memiliki kadar kolesterol yang lebih rendah dibandingkan dengan kelompok kontrol yang tidak terpapar. Temuan ini mengindikasikan bahwa medan magnet memiliki potensi untuk mengurangi kadar lemak dalam tubuh, yang berdampak positif pada Kesehatan kardiovaskular dengan meningkatkan peredaran darah melalui regulasi dilatasi pembuluh darah. Hal tersebut sangat penting dalam mencegah agregasi trombosit dan menjaga oksigenasi dan nutrisi yang memadai pada jaringan kardiovaskular dan jaringan lainnya (Whelan et al., 2009).

Medan magnet tidak hanya mampu mengurangi kadar kolesterol, tetapi juga efektif dalam mengurangi plak aterosklerosis dengan mengatur proses peradangan yang terlibat dalam aterosklerosis serta mempengaruhi sinyal seluler dan faktor pertumbuhan yang berperan dalam pembentukan plak aterosklerosis baru. Efek ini menunjukkan bahwa medan magnet dapat membantu mengurangi risiko terjadinya aterosklerosis dengan mengoptimalkan fungsi pembuluh darah dan memperbaiki aliran darah yang terganggu akibat plak. Secara khusus, medan magnet dapat mempengaruhi angiogenesis, yaitu proses pembentukan pembuluh darah baru dari yang sudah ada, sehingga medan magnet berpotensi untuk menjadi strategi terapeutik dalam mengatasi penyakit kolesterol dan masalah kesehatan kardiovaskular yang terkait (Soltani et al., 2023).

4.2.2 Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Kadar Hemoglobin Mencit

Pengukuran kadar hemoglobin dilakukan menggunakan metode strip. Alat yang digunakan dalam uji ini sama dengan alat untuk mengukur kadar kolesterol, namun strip yang digunakan adalah strip khusus untuk hemoglobin. Pada uji hemoglobin mencit, ekornya yang telah digunting sebelumnya untuk uji kolesterol akan dipijat kembali ke arah luka untuk mengeluarkan darah. Darah tersebut kemudian diteteskan pada strip yang sudah terpasang pada alat baca. Beberapa saat kemudian, hasil kadar hemoglobin akan ditampilkan di layar alat baca.

Hemoglobin, sebagai protein utama dalam darah yang mengangkut oksigen ke seluruh tubuh, sensitif terhadap medan magnet, yang dapat mengubah konformasi dan interaksi molekuler hemoglobin tanpa mengubah bentuk dan viskositas intrinsiknya (Elferchichi et al., 2007). Medan magnet dapat merangsang proliferasi sel induk hematopoietik di sumsum tulang. Sel induk hematopoietik

adalah prekursor dari semua jenis sel darah, termasuk sel darah merah yang mengandung hemoglobin. Medan magnet dapat meningkatkan aktivitas sel-sel ini, sehingga meningkatkan produksi sel darah merah dan hemoglobin dalam darah. Dalam konteks hematopoiesis, medan magnet dapat meningkatkan aktivitas sel induk hematopoietik dengan cara mempengaruhi ekspresi gen dan aktivitas enzim yang terkait dengan proliferasi sel, yang sangat penting dalam proses pembentukan sel darah. (Suda & Ueno, 1998).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan terlihat adanya indikasi peningkatan hemoglobin setelah perlakuan medan magnet. Peningkatan kadar hemoglobin dalam darah hampir pada semua variasi frekuensi dan kerapatan fluks magnet. Adapun kadar hemoglobin pada mencit normal diketahui sebesar 12,79 g/dL (Sitasiwi & Isdadiyanto, 2017), sedangkan kelompok-kelompok perlakuan yang dilakukan menunjukkan peningkatan kadar hemoglobin diatas kadar normal. Peningkatan frekuensi dari 50 Hz hingga 150 Hz secara umum meningkatkan kadar hemoglobin, dengan nilai tertinggi dicapai pada frekuensi 100 Hz dan kerapatan 03 mT sebesar 196,3 g/dL. Namun, pada frekuensi medan magnet yang lebih tinggi yakni 200 Hz baik pada kerapatan fluks magnet 0,3 mT maupun 0,6 mT, kadar hemoglobin mengalami penurunan dibanding kelompok kontrol meskipun tidak kurang dari nilai yang lebih rendah dari kadar hemoglobin normal pada mencit.

Pemaparan medan magnet dengan besar medan magnet yang tinggi akan menghasilkan energi yang besar pula. Jika energi yang diberikan lebih melebihi energi ikat hemoglobin (total energi ikat hemoglobin adalah 27.652.000 j/mol) akan dapat memutuskan ikatan hemoglobin yang disebabkan oleh ion atau radikal bebas (Kaim & Schwederski, 1994). Secara fisis, putusya ikatan molekul hemoglobin maka akan semakin banyak ion hidrogen yang terlepas dari ikatan. Dalam proses biologis, efek yang terjadi akibat dari interaksi tersebut akan dapat mempengaruhi sel secara individu dalam berbagai segi, diantaranya yaitu dapat menyebabkan kematian sel yang bisa menurunkan jumlah sel, perubahan tetap yang terbawa sel, serta terhambat dan tercegahnya pertumbuhan sel.

Adanya penurunan kadar hemoglobin disebabkan oleh besarnya energi medan magnet yang lebih besar dari energi ikat hemoglobin sehingga menyebabkan ikatan rantai hemoglobin putus yang mengakibatkan perubahan susunan ikatan

kimianya sehingga fungsi dari hemoglobin bisa berubah. Ikatan hemoglobin merupakan ikatan rangkap yang sangat kuat sehingga energi yang dibutuhkan untuk dapat merusak susunan ikatan rangkap tersebut harus sangat besar. Sedangkan medan magnet mempunyai energi rendah. Pada percobaan ini, energi yang diberikan tidak mampu memutuskan ikatan kimia. Hal ini dapat dilihat dari besarnya kadar hemoglobin yang tidak kurang dari range normal.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa medan magnet dalam terapi biomagnetik dapat menjadi pilihan terapi non-farmakologi yang efektif untuk meningkatkan kadar hemoglobin dalam darah. Hemoglobin merupakan pigmen merah pembawa oksigen yang terdapat dalam sel-sel darah merah, zat besi dalam darah berada dalam bentuk hemoglobin yang terdapat di dalam butir-butir darah merah (Piliang & Al-Haj, 2006). Pemberian medan magnet dari produk magnetis mempengaruhi unsur besi (Fe) pada sel-sel darah. Ketika magnet mengenai pembuluh arteri utama, seperti pembuluh arteri jantung, atau arteri karotid (titik nadi di leher) akan terjadi perangsangan (reaksi Fe pada magnet yang digunakan dalam terapi biomagnet terhadap Fe pada sel-sel darah) sehingga sel-sel yang sebelumnya saling menempel dan bersambungan akhirnya terurai. Hal ini mengakibatkan aliran darah lebih lancar. Dengan lancarnya aliran darah, maka kemampuan sel darah menyerap oksigen dan nutrisi meningkat. Oksigen dan nutrisi akan disebarkan oleh sel-sel darah ke seluruh jaringan dan organ tubuh yang membutuhkan. Medan magnet juga mempengaruhi polarisasi pada darah. Polarisasi berdampak pada sel-sel darah merah tersusun menjadi lebih teratur dan bebas. Sehingga luas permukaan sel darah merah tersebut untuk mengikat oksigen menjadi luas dan kemampuan membuang karbondioksida menjadi lebih baik. Dengan peningkatan luas permukaan sel darah merah, maka kemampuan sel darah merah mensuplai oksigen ke sel-sel tubuh bertambah. Apabila semua sel di seluruh tubuh memperoleh pasokan oksigen dan nutrisi dengan lancar maka sel-sel tersebut dapat bekerja dengan normal.

4.2.3 Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Kadar Glukosa Darah Mencit

Pengukuran kadar glukosa darah dilakukan menggunakan alat Multicare in Multi Parameter dengan strip glukosa darah. Setelah mencit dibiarkan tenang,

ujung ekornya dipotong menggunakan gunting. Darah kemudian diperas dari ekor yang terluka dan diteteskan pada strip yang terpasang pada alat baca. Hasil pengukuran kadar glukosa darah akan muncul beberapa saat kemudian pada layar alat.

Kadar glukosa darah normal pada mencit berkisar antara 62,8-176 mg/dL (Nugrahani, 2012). Pada kelompok mencit tanpa perlakuan, kadar glukosa darah hampir mencapai batas tertinggi yaitu 600 mg/dL pada semua pengulangan. Data dari hasil penelitian ini menunjukkan penurunan kadar gula darah yang signifikan dengan paparan medan magnet seiring peningkatan frekuensi dan kerapatan fluks magnet. Pada perlakuan dengan frekuensi 50 Hz dan kerapatan fluks magnet 3 mT, kadar glukosa darah menurun menjadi rata-rata 229 mg/dL, dan pada perlakuan 100 Hz dan 0,6 mT menurun secara signifikan menjadi rata-rata 47,33 mg/dL. Ini menunjukkan bahwa paparan medan magnet efektif menurunkan kadar glukosa darah.

Penggunaan medan magnet sebagai salah satu alternatif non obat-obatan untuk penyembuhan penyakit semakin mendapat perhatian karena mampu mempengaruhi tidak hanya bagi permukaan tubuh seperti kulit dan otot tetapi juga dapat mempengaruhi tingkat sel secara lebih dalam (Jamieson & Holdstock, 2010). Penurunan kadar glukosa darah yang terjadi dalam penelitian disebabkan oleh kemampuan medan magnet dalam mengubah pergerakan ion di ekstraseluler yang sedang melintasi membran sel, sehingga paparan medan magnet mampu meningkatkan percepatan pergerakan ion tersebut. Suatu benda yang terpapar medan magnet akan membentuk kekuatan pada ion untuk bergerak, baik secara aktif maupun terikat pada saluran protein, serta mempengaruhi pembukaan gerbang saluran di dalam membran sel (Ridawati, 2017).

Ion yang terpengaruh oleh medan magnet terhadap pertumbuhan sel adalah ion kalsium (Ca^{2+}). Golongan dari ion kalsium (Ca^{2+}) yakni bahan yang memiliki sifat paramagnetik, sehingga bisa terpengaruh oleh medan magnet. Dampak yang diakibatkan oleh medan magnet terhadap suatu bahan tersebut yakni spin elektron yang ada di suatu bahan, yang awalnya acak lalu menjadi terarah. Kecepatan suatu arah pergerakan dari adanya ion kalsium (Ca^{2+}) ekstraseluler yang awal mulanya melewati membran sel bisa berubah sebab adanya suatu arus induksi yang

disebabkan oleh adanya perubahan dari medan magnet. Sebagai akibatnya terjadi pembukaan gerbang saluran dan masuknya ion kalsium dalam jumlah besar ke dalam sel (Azizah et al., 2022). Ion kalsium kemudian masuk ke dalam inti sel guna merangsang DNA untuk melakukan replikasi, diferensiasi, dan poliferasi. Replikasi merupakan suatu proses penggandaan DNA, sedangkan diferensiasi merupakan suatu tahap pertumbuhan embrio dan poliferasi adalah pembelahan gametogenesis beberapa kali setelah mitosis. Hasil akhirnya sel menjadi sel normal, hal ini dapat meningkatkan jumlah dan fungsi sel pada pankreas. Perbaikan kondisi fisiologis pankreas ini pada akhirnya mampu mempengaruhi penurunan kadar gula darah.

Gelombang elektromagnetik dalam sel hidup mengakibatkan depolarisasi membran sel target. Proses ini dimulai ketika gelombang elektromagnetik menembus jaringan tubuh dan berinteraksi dengan membran sel, frekuensi dan kerapatan fluks magnet yang tepat dapat meningkatkan permeabilitas membran terutama kanal ion yang ada di membran tersebut, khususnya ion kalsium (Ca^{2+}). Gelombang elektromagnetik menyebabkan turunnya potensial membran sel (beda potensial) antara ekstra sel dan intra sel. Potensial istirahat membran yang biasanya berada di -70 mV akan terdepolarisasi lebih positif. Depolarisasi membran ini mengakibatkan pembukaan kanal kalsium voltage-gated, memungkinkan masuknya Ca^{2+} ke dalam sitoplasma dari lingkungan ekstraseluler, serta ion kalsium (Ca^{2+}) dikeluarkan dari retikulum sarkoplasmik melalui kanal ryanodine (RyR) (Widodo, 2002). Peningkatan kadar ion kalsium dalam sitoplasma mengaktifkan protein pengikat kalsium seperti calmodulin, yang selanjutnya mengaktifkan enzim-enzim penting termasuk myosin light-chain kinase (MLCK) dan protein kinase C (PKC). Aktivitas enzim-enzim ini memicu peningkatan translokasi transporter glukosa tipe 4 (GLUT 4) yang muncul ke permukaan sel atau membran plasma (Cartee & Funai, 2009). Dengan lebih banyak GLUT 4 di permukaan sel, kemampuan sel untuk menyerap glukosa dari darah meningkat secara signifikan. Glukosa yang masuk ke dalam sel di gunakan untuk produksi energi melalui glikolisis atau disimpan sebagai glikogen. peningkatan transpor glukosa dari darah ke dalam sel (intrasel) ini mampu menurunkan kadar glukosa dalam darah (Ojuka et al., 2012). Hal ini memberikan efek positif bagi penderita diabetes karena memungkinkan kontrol yang lebih baik terhadap kadar glukosa darah.

4.2.4 Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Viskositas Darah Mencit

Viskositas darah mencit diukur dengan menggunakan metode sentrifugasi. Darah diambil dari pembuluh darah sinus retro orbitalis di mata kanan menggunakan pipet mikro hematokrit, kemudian diteteskan ke dalam tabung Eppendorf berkapasitas 1,5 ml. Setelah semua sampel darah diambil, tabung-tabung Eppendorf ditempatkan secara seimbang di dalam sentrifugator dan diputar dengan kecepatan 3000 rpm selama 15 menit. Proses sentrifugasi menyebabkan darah terpisah menjadi dua lapisan, dengan lapisan eritrosit berada di bagian bawah. Tinggi lapisan eritrosit ini diukur untuk menentukan viskositas darah secara relatif.

Tubuh terbentuk dari molekul-molekul protein yang mengandung unsur-unsur antara lain: C (Karbon), H (Hidrogen), O (Oksigen), Cl (Chlor), N (Nitrogen), I (Yodium), P (Fosfor), dan mengandung unsur logam seperti Fe (Besi). Unsur zat besi (Fe) dalam tubuh terdapat pada butiran sel darah merah (hemoglobin) yang berikatan dengan oksigen (Maiyena & Lizelwati, 2013). Darah, sebagai komponen vital dalam tubuh manusia, tidak hanya berperan sebagai pengangkut oksigen, tetapi juga menyediakan nutrisi, mengangkut zat-zat sisa metabolisme, serta memainkan peran kunci dalam sistem kekebalan tubuh. Komposisi darah terdiri dari dua kontribusi yaitu, korpuskula 45% yang meliputi sel-sel darah merah, putih dan trombosit, serta plasma darah 55% yang mengandung air, protein, garam, hormon, dan nutrisi lainnya. Sel darah merah, atau eritrosit, mendominasi korpuskula darah dengan peran utama dalam mengangkut oksigen dari paru-paru ke seluruh tubuh. Hal ini dimungkinkan oleh hemoglobin, protein yang mengandung zat besi (Fe) dan memberi darah warna merah terang saat mengikat oksigen. Hemoglobin mengandung unsur Fe dalam molekulnya yang memungkinkan ikatan dengan molekul oksigen secara efisien. Hemoglobin membuat sel darah merah bersifat kemagnetan paramagnetik. Paramagnetik dimiliki oleh suatu bahan yang momen magnetiknya berinteraksi satu sama lain secara lemah. Tidak adanya medan magnetik luar. Momen magnetik akan berorientasi acak. Pemberian medan magnetik luar akan menyelaraskan sejajar momen magnetiknya dengan arah medan magnetik luar. Sifat para magnetik hemoglobin membuat eritrosit memiliki respon terhadap medan magnetik luar. Adanya gaya magnet menyebabkan hemoglobin terpolarisasi

magnetik, searah, sebangun, dan saling melekat erat (Tao & Huang, 2011). Medan magnetik eksternal mampu menyebabkan pembentukan konformasi agregat eritrosit yang searah dengan arah medan magnet eksternal sehingga darah menjadi lancar dan menurunkan viskositas darah. Penyebaran momen magnetik ini bergantung pada temperatur. Derajat penyebaran besar ketika temperatur rendah. Pada temperatur yang tinggi hanya sebagian kecil momen magnetik yang disebarkan dengan medan magnetik luar (Tipler, 2001).

Viskositas normal pada menciit berkisar 40-45% atau setara dengan 4-5 mPa.s (Irawati, 2015). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat penurunan viskositas darah pada frekuensi medan magnet 100 Hz dengan kerapatan fluks magnet sebesar 0,6 mT, namun nilai viskositasnya tetap tidak kurang dari viskositas normal menciit. Hal ini menunjukkan bahwa medan magnet dapat memberikan efek tereupatik dengan meningkatkan aliran darah yang berhubungan langsung dengan viskositas darah. Medan magnet memiliki kemampuan untuk menurunkan viskositas darah melalui berbagai mekanisme yang kompleks, salah satunya yaitu mempengaruhi plasma darah. Plasma darah, yang terdiri dari sebagian besar air (sekitar 55% dari total darah), dapat diubah struktur molekul airnya ketika terpapar medan magnet. Perubahan ini mengurangi ikatan hidrogen antara molekul-molekul air dalam plasma, sehingga menurunkan viskositasnya (Vogel et al., 2022). Menurut salah satu teori, setelah terpapar medan magnet, gugus-gugus molekul air dapat berubah ukurannya, sehingga ikatan antar gugus air melemah sementara ikatan intra-gugus menguat, dengan sedikit peningkatan jumlah ikatan (Lindinger, 2021). Perubahan ini mengurangi viskositas plasma karena molekul-molekul air menjadi lebih mudah bergerak satu sama lain. Pada penjelasan lain disebutkan bahwa ketika magnet mengenai pembuluh arteri utama, seperti pembuluh arteri jantung, atau arteri karotid (titik nadi di leher) akan terjadi perangsangan (reaksi Fe pada Neodymium magnet yang digunakan dalam terapi biomagnet terhadap Fe pada sel-sel darah) sehingga sel-sel yang sebelumnya saling menempel dan bersambungan akhirnya terurai. Hal ini mengakibatkan viskositas darah menurun yang pada akhirnya aliran darah lebih lancar.

Namun, pada frekuensi medan magnet yang lebih tinggi, yaitu antara 150-200 Hz, terjadi peningkatan persentase viskositas darah pada menciit. Peningkatan

terbesar terjadi pada kerapatan fluks magnet 0,6 mT untuk frekuensi 150 Hz dan 0,3 mT untuk frekuensi 200 Hz. Hal ini bisa terjadi disebabkan karena Frekuensi dan intensitas medan magnet yang lebih tinggi dapat mengurangi efek medan magnet pada viskositas darah. Ketika terkena medan magnet, sel darah merah akan cenderung berorientasi dengan bidang cakramnya karena adanya torsi magnetik yang mempengaruhi momen dipol magnetik dalam sel darah merah. Orientasi ini berdampak pada pengaturan spasial sel-sel darah merah dalam aliran darah. Sel darah merah yang terorientasi dalam medan magnet mengalami gerakan rotasi. Gerakan ini dapat menyebabkan interaksi antarsel yang lebih kompleks dalam aliran darah, menghasilkan gaya geser tambahan di antara sel-sel tersebut. Hal ini mampu menyebabkan peningkatan viskositas darah, karena gaya geser tambahan menyebabkan hambatan lebih besar terhadap aliran cairan (Haik et al., 2001). Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ichioka et al., (2000), yang mempelajari efek medan magnet dengan intensitas tinggi terhadap aliran darah kulit pada tikus menggunakan pengukuran aliran laser Doppler. Mereka menemukan bahwa laju aliran melambat ketika tikus terpapar medan magnet dengan intensitas yang sangat tinggi, mendekati 8 T.

4.2.5 Pengaruh frekuensi dan Kerapatan Fluks Magnet Terhadap Jumlah Eritrosit Mencit

Perhitungan jumlah eritrosit menggunakan metode haemocytometer yang dilakukan dengan cara mengambil darah dari ekor tikus, mencampurnya dengan larutan hayem dalam pipet thoma untuk dilakukan pengenceran, lalu memasukkan campuran tersebut ke bilik hitung yang kemudian diamati dibawah mikroskop dengan perbesaran 40 kali. Eritrosit dihitung dalam 5 bilik hitung dan jumlahnya dikonversi menjadi jumlah eritrosit per mm^3 menggunakan rumus tertentu berdasarkan volume bilik dan pengenceran darah. Dari hasil perhitungan jumlah eritrosit menunjukkan bahwa setelah diberi paparan medan magnet jumlah eritrosit meningkat dari jumlah eritrosit pada kelompok normal tanpa perlakuan medan magnet.

Hasil penelitian membuktikan bahwa pemberian paparan medan magnet memberikan pengaruh terhadap peningkatan jumlah eritrosit. Terdapat perbedaan yang nyata antara masing-masing perlakuan dengan kontrol. Pada kelompok

kontrol, rerata jumlah eritrosit adalah $1,46 \times 10^6/\text{mm}^3$ sel. Ketika frekuensi medan magnet di tingkatkan menjadi 50 Hz dengan kerapatan fluks magnet 0,3 mT, jumlah eritrosit meningkat signifikan menjadi $2,57 \times 10^6/\text{mm}^3$ sel. Peningkatan lebih lanjut terlihat pada frekuensi 100 Hz dan kerapatan fluks magnet 0,3 mT serta 0,6 mT, dengan rerata jumlah eritrosit masing-masing sebesar $3,85 \times 10^6/\text{mm}^3$ dan $4,51 \times 10^6/\text{mm}^3$ sel. Pada frekuensi 150 Hz dan kerapatan fluks magnet 0,6 mT, jumlah eritrosit mencapai puncaknya dengan nilai rata-rata $6,14 \times 10^6/\text{mm}^3$ sel.

Hal ini terjadi karena medan magnet mampu mempengaruhi eritrosit melalui berbagai mekanisme, melibatkan perubahan struktural dan fungsional pada sel serta peningkatan produksi eritrosit. Secara struktural, medan magnet dapat mempengaruhi fluiditas dan permeabilitas membran sel eritrosit, yang penting untuk transportasi ion dan molekul kecil, menjaga fungsi normal sel darah merah. Efek ini termasuk perubahan distribusi dan orientasi molekul fosfolipid dalam membran sel, yang mempengaruhi stabilitas dan integritas membran (Doltchinkova et al., 2023). Selain itu, medan magnet dapat meningkatkan aktivitas enzim seperti $\text{Na}^+/\text{K}^+-\text{ATPase}$ (Natrium/kalium adenosin triphosphatase) dan $\text{Ca}^{2+}-\text{ATPase}$ (Calcium adenosin triphosphatase) yang terlibat dalam metabolisme energi sel eritrosit. Enzim-enzim ini membantu menjaga keseimbangan ionik dan volume sel darah merah, yang esensial untuk kelangsungan hidup dan fungsi optimal eritrosit. Medan magnet juga dapat mempengaruhi hemoglobin, protein utama dalam eritrosit yang bertanggung jawab untuk pengikatan dan transportasi oksigen. Perubahan struktur hemoglobin yang disebabkan oleh medan magnet dapat meningkatkan afinitasnya terhadap oksigen, sehingga memperbaiki kapasitas pengangkutan oksigen dalam darah (Sakhnini & Khazaie, 2001).

Selain efek struktural, medan magnet juga dapat merangsang proliferasi sel punca hematopoietik di sumsum tulang, yang merupakan prekursor eritrosit, melalui aktivasi jalur sinyal seluler tertentu. Stimulasi ini meningkatkan produksi dan pelepasan eritrosit baru ke dalam sirkulasi darah. Mekanisme ini melibatkan peningkatan sensitivitas sel punca hematopoietik terhadap erythropoietin (EPO), hormon yang mengatur produksi eritrosit. Dengan meningkatnya sensitivitas terhadap EPO, laju produksi eritrosit di sumsum tulang dapat ditingkatkan. Selain itu, medan magnet dapat mengurangi tingkat apoptosis (kematian sel terprogram)

pada eritrosit, sehingga lebih banyak eritrosit dapat bertahan dalam sirkulasi darah untuk jangka waktu yang lebih lama. Mekanisme pengurangan apoptosis ini melibatkan pengaruh medan magnet pada jalur molekuler yang mengatur ekspresi protein anti-apoptotik dan pro-apoptotik. Semua mekanisme ini bekerja bersama-sama untuk meningkatkan jumlah dan fungsi eritrosit, yang pada akhirnya dapat meningkatkan kapasitas pengangkutan oksigen dan kinerja fisiologis secara keseluruhan (Okazaki et al., 1987).

Namun pada frekuensi medan magnet yang tinggi terdapat penurunan signifikan dalam jumlah eritrosit baik pada kerapatan fluks magnet 0,3 mT maupun 0,6 mT, dengan nilai rerata masing-masing sebesar $2,20 \times 10^6 / \text{mm}^3$ sel dan $1,75 \times 10^6 / \text{mm}^3$ sel. Hal ini terjadi karena komposisi unsur besi (Fe) yang terkandung dalam eritrosit, yang diklasifikasikan sebagai feromagnetik dan non-linear, menyebabkan perubahan dalam struktur dan fungsi eritrosit. Hal ini dapat disebabkan oleh efek medan magnet yang berbeda pada komponen-komponen eritrosit, seperti hemoglobin, yang dapat menyebabkan perubahan dalam sifat fisik dan kimia eritrosit. Lebih lanjut penurunan jumlah eritrosit tersebut kemungkinan berkaitan dengan sifat feromagnetik komposisi unsur darah yaitu zat besi (Fe) yang tergolong materi non linier dengan faktor demagnetisasi $N_d = 0$. Faktor demagnetisasi memberikan gaya yang dapat diduga dapat memperlambat proses pembentukan ion-ion zat besi (Fe) (Komang et al., 2014).

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan mengenai pengaruh paparan medan magnet Extremely Low Frequency (ELF) terhadap kadar kolesterol, kadar hemoglobin, kadar glukosa darah, viskositas darah, dan jumlah eritrosit mencit diabetes, sapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Paparan medan magnet ELF terbukti memiliki pengaruh signifikan terhadap penurunan kadar kolesterol pada variasi frekuensi dengan signifikansi $p < 0,05$. Namun, kerapatan fluks magnet dan interaksi antara frekuensi dengan kerapatan fluks magnet tidak memberikan pengaruh yang nyata ($p > 0,05$). Frekuensi medan magnet yang paling efektif dalam menurunkan kadar kolesterol adalah 200 Hz.
2. Paparan medan magnet ELF berpengaruh signifikan terhadap kadar hemoglobin, di mana variasi frekuensi, kerapatan fluks magnet, serta interaksi antara frekuensi dengan kerapatan fluks magnet menunjukkan pengaruh nyata dengan signifikansi $p < 0,05$. Paparan medan magnet pada frekuensi 100 Hz dengan kerapatan fluks magnet 0,3 mT memberikan peningkatan kadar hemoglobin yang paling optimal.
3. Paparan medan magnet ELF terbukti mempengaruhi kadar glukosa darah dengan signifikan ($p < 0,05$), di mana variasi frekuensi, kerapatan fluks magnet, serta interaksi keduanya menunjukkan pengaruh nyata. Nilai kadar glukosa darah paling rendah dicapai pada paparan medan magnet dengan frekuensi 100 Hz dan kerapatan fluks magnet 0,6 mT.
4. Paparan medan magnet ELF memiliki pengaruh signifikan terhadap viskositas darah ($p < 0,05$). Variasi frekuensi, kerapatan fluks magnet, serta interaksi keduanya terbukti mempengaruhi viskositas darah. Perlakuan medan magnet dengan frekuensi 100 Hz dan kerapatan fluks magnet 0,6 mT adalah yang paling efektif dalam menurunkan viskositas darah.
5. Paparan medan magnet ELF berpengaruh signifikan terhadap perubahan jumlah eritrosit dalam darah ($p < 0,05$). Variasi frekuensi, kerapatan fluks magnet, serta interaksi keduanya menunjukkan pengaruh nyata. Uji lanjut menunjukkan bahwa paparan medan magnet dengan frekuensi 150 Hz dan kerapatan fluks magnet 0,6 mT sangat efektif dalam meningkatkan jumlah eritrosit dalam darah.
6. Paparan medan magnet bolak balik dengan kerapatan fluks magnet dan frekwensi rendah berpotensi untuk melakukan terapi penderita diabetes. Efek perbaikan dan juga potensi kerusakan dapat terjadi pada darah dan

juga terjadi pada sel ginjal dan jantung. Kondisi optimum dari masing masing kandungan pada darah, sel ginjal dan jantung terjadi pada kerapatan fluks magnet dan frekwensi yang berbeda. Oleh karena itu paparan medan magnet akan dapat memperbaiki kondisi yang diinginkan, tetapi akan dapat membuat kondisi lain menjadi kurang baik.

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah dijelaskan, disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan guna mengeksplorasi lebih dalam mengenai pengaruh paparan medan magnet Extremely Low Frequency (ELF) terhadap berbagai parameter darah pada mencit diabetes, serta memperpanjang durasi paparan untuk melihat efek jangka panjang. Penelitian lanjutan tersebut dapat mencakup variasi frekuensi dan kerapatan fluks magnet yang lebih beragam guna menentukan kombinasi optimal yang memberikan efek terapeutik terbaik. Selain itu, penelitian klinis pada manusia juga penting untuk memastikan apakah hasil yang diperoleh pada mencit dapat diterapkan pada pasien manusia, dengan tetap mempertimbangkan aspek keamanan dan etika.

DAFTAR PUSTAKA

- Aiyar, S., Ebeke, C., & Shao, X. (2016). The Impact of Workforce Aging on European. *International Monetary Fund*.
- Alfarisi, S., Basuki, W., & Susantiningsih, T. (2012). Perbedaan Kadar Kreatinin Serum Pasien Diabetes Melitus Tipe 2 Yang Terkontrol Dengan Yang Tidak Terkontrol Di RSUD Dr. H. Abdul Moeloek Differences in Serum Creatinine Levels of Type 2 Diabetes Mellitus Patient That Controlled With Not Controlled in Dr. *Medical Journal of Lampung University*, 129–136.
- Annelies W. E. Weverling-Rijnsburger, MD; Iris J. A. M. Jonkers, MD; Eric van Exel, MD; Jacobijn Gussekloo, MD, PhD; Rudi G. J. Westendorp, MD, P. (2015). High-Density vs Low-Density Lipoprotein Cholesterol as the Risk Factor for Coronary Artery Disease and Stroke in Old Age. *163*, 1549–1554.
- Bahaoddini, A., Mohabatkar, H., Nikfarjam, A., & Keshtgar, S. (2008). Effect of exposure to low frequency electromagnetic field on the plasma glucose, insulin, triglyceride and cholesterol of male rats. *Journal of Applied Animal Research*, *34*(2), 179–180. <https://doi.org/10.1080/09712119.2008.9706966>
- England, P. H. (2019). Dependence and withdrawal associated with some prescribed medicines An evidence review About Public Health England. *Sustainable Development Goals*.
- Federation, I. D. (2021). *IDF Diabetes Atlas IDF Diabetes Atlas*.
- Flatscher, J., Pavez Loriè, E., Mittermayr, R., Meznik, P., Slezak, P., Redl, H., & Slezak, C. (2023). Pulsed Electromagnetic Fields (PEMF)—Physiological Response and Its Potential in Trauma Treatment. *International Journal of Molecular Sciences*, *24*(14). <https://doi.org/10.3390/ijms241411239>
- Fuentes, E., Fuentes, M., Alarcón, M., & Palomo, I. (2017). Immune System Dysfunction in the Elderly. *An Acad Bras Cienc*, *89*(1), 285–299.
- Galicia-garcia, U., Benito-vicente, A., Jebari, S., & Larrea-sebal, A. (2020). Pathophysiology of Type 2 Diabetes Mellitus. *International Journal of Molecular Sciences*, *21*(6275), 1–34.
- Giancoli, D. C. (1998). *Fisika Dasar*. Erlangga.
- Giancoli, D. C. (2001). *FISIKA: Prinsip dan Aplikasi jilid 2*. Erlangga.
- Gmitrov, J. (2013). Static Magnetic Field Effect on Cardiovascular Regulation: A Review. *British Journal of Medicine and Medical Research*, *4*(8), 1612–1627. <https://doi.org/10.9734/bjmmr/2014/7227>
- Guyton, A., & Hall, J. (2006). *Textbook of Medical Physiology*. Elsevier Inc.
- Hartanti, Pudjibudojo, J. K., Aditama, L., & Rahayu, R. P. (2013). Pencegahan dan Penanganan Diabetes Mellitus. *Fakultas Psikologi Universitas Surabaya*, 1–96.

- Ibrahim. (2018). Pengaruh Diet Terhadap Kadar Gula Darah Pasien Diabetes Melitus Tipe II the Influence Of diet on Blood Glucose Level Patients Mellitus Diabetes Type II. *Jurnal Kesehatan Saintika Meditory*, 1(1).
- Jin, H. K., Hwang, T. Y., & Cho, S. H. (2017). Effect of electrical stimulation on blood flow velocity and vessel size. *Open Medicine (Poland)*, 12(1), 5–11. <https://doi.org/10.1515/med-2017-0002>
- Jiwintarum, Y., Fauzi, I., Diarti, M. W., & Santika, I. N. (2019). Penurunan Kadar Gula Darah Antara Yang Melakukan Senam Jantung Sehat Dan Jalan Kaki. *Jurnal Kesehatan Prima*, 13(1), 1. <https://doi.org/10.32807/jkp.v13i1.192>
- Kara, A., Aksak, S., & Altunkaynak, B. Z. (2012). Insulin hormone : Mechanism and effects on the body and relationship with central nervous system İnsülin hormonu : Vücuttaki mekanizması ve etkileri ve merkezi sinir sistemi ile ilişkisi. *Dicle Medical Journal* 39(2), 310–315. <https://doi.org/10.5798/diclemedj.0921.2012.02.0149>
- Kurniawaty, E. (2014). Diabetes Mellitus. *Juke*, 4(7), 114–119.
- Kusuma, I. Y., & Prabandani, R. (2013). PASIEN DIABETES MELITUS MENGGUNAKAN OBAT ANTIDIABETES DI PERUM KETAPANG SOKARAJA KULON Hasil survei WHO menunjukkan bahwa jumlah penderita DM di Indonesia bagian integral dari sistem pelayanan *Pedoman Home Pharmacy Care tahun*. 220, 75–81.
- Lenzen, S. (2021). The pancreatic beta cell: an intricate relation between anatomical structure , the signalling mechanism of glucose - induced insulin secretion , the low antioxidative defence , the high vulnerability and sensitivity to diabetic stress. *ChemTexts*, 7(2), 1–6. <https://doi.org/10.1007/s40828-021-00140-3>
- Lotfi, A., Ahadi, F., Shahryar, H. A., Chekani-Azar, S., & Faeghi, P. (2011). Effects of exposure to constant or pulsed 50 Hz magnetic fields on body weight and blood glucose concentration of BALB/C mice. *International Journal of Agriculture and Biology*, 13(1), 148–150.
- Luo, X., Ma, L., Gao, P., & Zhang, Y. (2017). Effects of subchronic extremely low-frequency electromagnetic field exposure on biochemical parameters in rats. *Toxicology and Industrial Health*, 33(4), 365–372. <https://doi.org/10.1177/0748233716645479>
- Mayrovitz, H. N., Maqsood, R., & Tawakalzada, A. S. (2022). Do Magnetic Fields Have a Place in Treating Vascular Complications in Diabetes? *Cureus*, 14(5). <https://doi.org/10.7759/cureus.24883>
- Mumpuni, Y., & Wulandari, A. (2011). *Cara Jitu Mengatasi Kolesterol*. Andi.
- Nurmalasari, Y., Rafie, R., Febriani, D., & Rahma, S. A. (2021). Pengaruh Pemberian Ekstrak Daun Kelor Terhadap Kadar Glukosa Tikus Putih Yang Diinduksi Aloksan Sebagai Upaya Preventif Hiperglikemia. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 5(1), 472–483.

- Pasek, J., Pasek, T., Sieroń-Stołtny, K., Cieślak, G., & Sieroń, A. (2016). Electromagnetic fields in medicine – The state of art. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 35(2), 170–175. <https://doi.org/10.3109/15368378.2015.1048549>
- Rahmasari, I., & Wahyuni, E. S. (2019). Efektivitas Memordoca Carantia (Pare) terhadap Penurunan Kadar Glukosa Darah. *Infokes*, 9(1), 57–64.
- Sartika, S. B., & Wulandari, R. (2020). *Berpikir Analisis Melalui Fluida* (N. Shofiyah (ed.)). UMSIDA Press.
- Sarwar, N., Danesh, J., Eiriksdottir, G., Sigurdsson, G., Wareham, N., Bingham, S., Boekholdt, S. M., Khaw, K., & Gudnason, V. (2015). Triglycerides and the Risk of Coronary Heart Disease 10 158 Incident Cases Among 262 525 Participants in 29. *Epidemiology*, 450–459. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.637793>
- Sayekti, S. (2017). Hubungan Pola Makan Dengan Kadar Asam Urat Pada Pra Lansia Di Rt:02/Rw:02 Desa Candimulyo Kecamatan Jombang Kabupaten Jombang. *Jurnal Insan Cendekia*, 4(2), 131–141. <https://doi.org/10.35874/jic.v4i2.324>
- Sinatra, F. L. (2010). *Unserstanding the Interaction Between Blood Flow and an Applied Magnetic Field*. University of South Florida.
- Soltani, D., Samimi, S., Vasheghani-Farahani, A., Shariatpanahi, S. P., Abdolmaleki, P., & Madjid Ansari, A. (2023). Electromagnetic field therapy in cardiovascular diseases: A review of patents, clinically effective devices, and mechanism of therapeutic effects. *Trends in Cardiovascular Medicine*, 33(2), 72–78. <https://doi.org/10.1016/j.tcm.2021.10.006>
- Takeuchi, Y., & Iwasaka, M. (2015). Effects of magnetic fields on dissolution of arthritis causing crystals. *Journal of Applied Physics*, 117(17), 1–3. <https://doi.org/10.1063/1.4919037>
- Tao, & Huang. (2011). *Reducing Blood Viscosity with Magnetic Fields* (1st–5th ed.). Physical Review.
- Tipler, P. A. (2001). *Fisika Untuk Sains dan Teknik (Jilid 2)*. Erlangga.
- Ueno, N., Inui, A., Asakawa, A., Takao, F., Komatsu, Y., Kotani, K., Nishimura, R., & Kasuga, M. (2002). Mosapride, a 5HT-4 receptor agonist, improves insulin sensitivity and glycaemic control in patients with Type II diabetes mellitus. *Diabetologia*, 45(6), 792–797. <https://doi.org/10.1007/s00125-002-0835-4>
- Velanie, C. S., Diarti, M. W., Pauzi, I., Jurusan, A., Kesehatan, K., & Mataram, I. (2017). Pemberian Tepung Beras Merah (*Oryza Nivara*) Terhadap Penurunan Kadar Glukosa Darah Pada Hewan Coba Tikus Putih (*Rattus Norvegicus*) Galur Wistar. *Jurnal Analis Medika Bio Sains*, 4(2), 81–86.
- Whelan, A. J., Martinez, J., Cox, T., Toy, S., & Woodhams, J. (2009). Electromagnetic Therapy Device and Methods. *BioElectronics Corp*, 2(12).

