

**PENGARUH TEGANGAN RADIO-FREKUENSI TERHADAP KADAR
GLUKOSA, KOLESTEROL DARAH, SERTA HISTOLOGI HATI PADA
MENCIT DIABETES**

SKRIPSI

OLEH:
MUHAMMAD SAPTA BIMA UTOMO
NIM. 220604110034



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

HALAMAN PENGANTAR

**PENGARUH TEGANGAN RADIOFREKUENSI TERHADAP KADAR
GLUKOSA, KOLESTEROL DARAH, SERTA HISTOLOGI HATI PADA
MENCIT DIABETES**

SKRIPSI

**Diajukan kepada:
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat dalam Memperoleh Gelar Sarjana
Sains (S.Si)**

**Oleh:
MUHAMMAD SAPTA BIMA UTOMO
NIM. 220604110034**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2026**

HALAMAN PERSETUJUAN

PENGARUH TEGANGAN RADIOFREKUENSI TERHADAP KADAR
GLUKOSA, KOLESTEROL DARAH, SERTA HISTOLOGI HATI PADA
MENCIT DIABETES

SKRIPSI

Oleh:

Muhammad Sapta Bima Utomo
NIM. 2206041100434

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji Pada
tanggal, 09 Juni 2026

Pembimbing I



Prof. Dr. Drs. Mokhammad Tirono M.Si
NIP. 19641211 199111 1 001

Pembimbing II



Dr. Umaiyatus Syarifah, M.A
NIP. 19820925 200901 005

Mengetahui,
Kepala Program Studi



Farid Samsu Hananto, M.T
NIP. 197405132003121001

HALAMAN PENGESAHAN

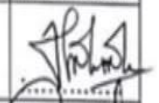
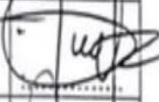
PENGARUH TEGANGAN RADIOFREKUENSI TERHADAP KADAR
GLUKOSA, KOLESTEROL DARAH, SERTA HISTOLOGI HATI PADA
MENCIT DIABETES

SKRIPSI

Oleh:

Muhammad Sapta Bimo Utomo
NIM. 220604110034

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal 25 Juni 2026

Penguji Utama :	<u>Dr. Agus Mulyono, M.Kes.</u> NIP. 19750808 199903 1 003	
Ketua Penguji :	<u>Utiya Hikmah, M.Si.</u> NIP. 19880605 2018020 2 242	
Sekretaris Penguji :	<u>Prof. Dr. Drs. Mokhammad Tirono, M.Si.</u> NIP. 19641211 199111 1 001	
Anggota Penguji :	<u>Dr. Umaiyatus Syarifah, M.A.</u> NIP. 19820925 200901 2 005	



Mengesahkan,
Ketua Program Studi
Harid Samsu Hananto, S.Si., M.T
NIP. 19740513 200312 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : MUHAMMAD SAPTA BIMA UTOMO

NIM : 220604110034

Program Studi : FISIKA

Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI

Judul Penelitian : Pengaruh Tegangan Radiofrekuensi Terhadap Kadar Glukosa, Kolesterol Darah, Serta Histologi Hati Pada Mencit Diabetes.

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang telah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti terdapat unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Malang, 26 Juni 2026
Yang Membuat Pernyataan,

Muhammad Sapta Bima Utomo
NIM. 220604110034

MOTTO

“BERSAMA KESULITAN PASTI ADA KEMUDAHAN”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, rampung sudah studi dan tugas akhir ini atas ridho dan pertolongan-Nya. Saya persembahkan banyak cinta dan terima kasih kepada:

1. Orang tua saya, karena beliau berdua telah menjaga dan mendukung saya dengan doa-doa terbaik. Terima kasih dan maaf tentu saja tidak cukup sehingga saya berharap Allah memberikan dan menetapkan segala hal yang terbaik untuk segala sisi kehidupan kedua orang tua saya, baik kehidupan di dunia maupun di akhirat.
2. Dr. H. M. Tirono M.Si. selaku pembimbing skripsi saya. Terimakasih sudah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan arahan, pengetahuan serta bimbingan mulai awal pengerjaan hingga terselesaikannya skripsi ini.
3. My Beloved Summer (NL) yang sudah menemani saya mengerjakan skripsi dan membantu saya mendorong saya supaya bersemangat mengerjakannya di manapun saya berada.
4. Sahabatku (AH) yang sudah membantu megang mencitku sampe digigit hahaha.
5. Teman-teman KKN, yang mendukungku dengan cara mereka masing-masing.
6. Teman-teman Fisika angkatan 2022, khususnya Biofisika yang telah kebersamai selama 4 tahun ini.
7. Teman- teman saya dan semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung membantu saya dalam mengerjakan skripsi ini. Terimakasih atas semangat dan bantuannya.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil Alamiin, Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Arus Listrik Radio-Frekuensi terhadap Kadar Kolesterol, Asam Urat, Glukosa Darah, dan Viskositas Darah Mencit Diabetes” dengan lancar. Sholawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah menuntun manusia dari jaman jahiliyah menuju jaman yang terang benderang. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu terselesainya skripsi ini, ucapan terimakasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si., CAHRM., CRMP selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Agus Mulyono, M.Kes selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Farid Samsu Hananto M.T selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Dr. H. M. Tirono, M.Si selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah bersedia meluangkan banyak waktunya dan memberi kritik serta sarannya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
5. Dr Umaiatus Syarifah M.A selaku Dosen Pembimbing Integrasi yang telah bersedia meluangkan waktu waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan bidang integrasi Sains dan al-Qur'an.

6. Dr. H. Agus Mulyono, M.Kes dan Utiya Rahmah M.Si selaku Dosen Penguji skripsi yang telah bersedia meluangkan waktunya dan memberi kritik serta sarannya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
7. Segenap Dosen, Laboran dan Admin Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah bersedia mengamalkan ilmunya, membimbing dan memberikan pengarahan serta membantu selama proses skripsi.

Penulis berharap semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi penulis dan semua pihak yang membaca laporan ini dalam menambah wawasan ilmiah dan memberikan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat konstruktif sangat penulis harapkan demi kebaikan bersama.

Malang, 26 Juni 2026

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	viii
HALAMAN PENGANTAR.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
ABSTRAK	xiv
ABSTRACT	xv
 مستخلص البحث	 xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	8
1.3 Tujuan Penelitian	9
1.4 Manfaat Penelitian	9
BAB II KAJIAN PUSTAKA	10
2.1 Radio-Frekuensi.....	10
2.2 Diabetes	11
2.3 Glukosa Darah	12
2.4 Kolesterol.....	14
2.5 Histologi Hati	15
2.6 Efek Radiofrekuensi terhadap penurunan kadar glukosa dan kolestrol darah	17
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1 Jenis Penelitian	20
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	20
3.3 Alat dan Bahan.....	20
3.4 Variabel Penelitian	21
3.5 Prosedur Penelitian	22
3.6 Diagram Alir	23
3.6.1 Persiapan Hewan Coba	24
3.6.2 Induksi Diabetes pada Mencit	24
3.6.3 Perlakuan Radio-Frekuensi pada Hewan Coba	25
3.6.4 Pengukuran Kadar Glukosa, Kolesterol Darah, serta Histologi Hati Mencit Diabetes	25

3.6.5 Teknik Pengolahan Data	26
3.6.6 Teknik Pengumpulan Data pada Histologi Hati	28
3.6.7 Kriteria Pengukuran Histologi Hati	28
3.6.8 Teknik Analisis Data	29
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33 xi
4.1 Data Hasil Penelitian	33
4.1.1 Pengaruh Tegangan Radio-Frekuensi terhadap Kadar Glukosa	34
4.1.2 Pengaruh Tegangan Radio-Frekuensi terhadap Kadar Kolesterol	37
4.1.3 Pengaruh Tegangan Radio-Frekuensi terhadap Histologi Hati	42
4.2 Pembahasan	48
4.2.1 Pengaruh Tegangan Radio-Frekuensi terhadap Kadar Glukosa	48
4.2.2 Pengaruh Tegangan Radio-Frekuensi terhadap Kadar Kolesterol Darah	52
4.2.3 Pengaruh Tegangan Radio-Frekuensi terhadap Histologi Hati	55
4.3 Kajian Keislaman	60
BAB V PENUTUP	65
5.1 Kesimpulan	65
5.2 Saran	66
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	72

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Data Hasil Kadar Glukosa Mencit Diabetes	34
Tabel 4. 2 Hasil Analisis Two Way Anova Kadar Glukosa	37
Tabel 4. 3 Data hasil kadar kolesterol mencit diabetes	37
Tabel 4. 4 Hasil Analisis Two Way Anova kadar kolesterol.....	41
Tabel 4. 5 Skoring Histologi Hati Mencit Diabetes	44
Tabel 4. 6 Two Way Anova Histologi Hati Mencit Diabetes	45
Tabel 4. 7 Uji DMRT Histologi Hati Mencit Diabetes	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4. 1 Grafik pengaruh tegangan radiofrekuensi terhadap kadar glukosa pada mencit diabetes	36
Gambar 4. 2 Grafik pengaruh tegangan radiofrekuensi terhadap kadar kolesterol .	39
Gambar 4. 3 Histologi Hati Mencit Diabetes dengan Tegangan dan Variasi Waktu yang Berbeda - beda	42

ABSTRAK

Utomo, Sapta Bima. 2026. **Pengaruh Tegangan Radiofrekuensi Terhadap Kadar Kolesterol, Glukosa Darah, Serta Histologi Hati Pada Mencit Diabetes.** Skripsi. Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Prof. Dr. Drs. Mokhammad Tirono, M.Si. (II) Dr. Umaiatus Syarifah, M.A.

Kata kunci: diabetes melitus, radiofrekuensi, glukosa darah, kolesterol darah, histologi hati, mencit.

Diabetes melitus merupakan penyakit metabolik yang ditandai dengan hiperglikemia akibat gangguan sekresi maupun kerja insulin, yang dapat memicu komplikasi seperti dislipidemia dan kerusakan organ hati. Salah satu alternatif terapi nonfarmakologis yang mulai dikembangkan adalah pemanfaatan radiofrekuensi (RF), yang menghasilkan efek termal sehingga berpotensi memengaruhi metabolisme tubuh. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi tegangan radiofrekuensi terhadap kadar glukosa darah, kadar kolesterol darah, serta gambaran histologi hati pada mencit diabetes. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan rancangan faktorial yang melibatkan mencit putih (*Mus musculus*) jantan yang diinduksi aloksan hingga mengalami diabetes. Hewan coba dibagi menjadi tujuh kelompok, yaitu kelompok kontrol serta enam kelompok perlakuan yang diberi paparan radiofrekuensi dengan variasi tegangan 1 V, 1,5 V, dan 2 V selama 3 menit dan 5 menit setiap hari selama lima hari berturut-turut. Parameter yang diamati meliputi kadar glukosa darah, kadar kolesterol darah menggunakan metode tes strip, serta gambaran histologi hati menggunakan preparat Hematoksilin-Eosin (HE). Data dianalisis menggunakan uji Two-Way ANOVA, kemudian dilanjutkan dengan uji Duncan's Multiple Range Test (DMRT) pada data histologi hati. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan tegangan radiofrekuensi cenderung meningkatkan kadar glukosa darah, namun berdasarkan uji Two-Way ANOVA tidak terdapat pengaruh yang signifikan antara variasi tegangan, waktu pemaparan, maupun interaksi keduanya terhadap kadar glukosa ($p > 0,05$). Kadar kolesterol darah menunjukkan perubahan yang fluktuatif pada setiap perlakuan, dengan kecenderungan peningkatan pada beberapa kelompok, sedangkan hasil analisis histologi hati menunjukkan adanya perbedaan tingkat kerusakan jaringan antar kelompok perlakuan. Berdasarkan uji statistik, pemberian radiofrekuensi memberikan pengaruh terhadap gambaran histologi hati, meskipun tidak seluruh parameter biokimia menunjukkan perbedaan yang bermakna secara statistik.

ABSTRACT

Utomo, Sapta Bima. 2026. **The Effect of Radiofrequency Voltage on Blood Cholesterol Levels, Blood Glucose Levels, and Liver Histology in Diabetic Mice.**

Undergraduate Thesis. Physics Study Program, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang. Supervisors: (I) Prof. Mokhammad Tirono, M.Si., Ph.D. (II) Dr. Umaiyatus Syarifah, M.A.

Keywords: diabetes mellitus, radiofrequency, blood glucose, blood cholesterol, liver histology, mice.

Diabetes mellitus is a metabolic disease characterized by hyperglycemia resulting from impaired insulin secretion and/or insulin action, which may lead to complications such as dyslipidemia and liver damage. One of the non-pharmacological therapeutic approaches currently being explored is the application of radiofrequency (RF), which produces thermal effects that may influence body metabolism. This study aimed to analyze the effect of different radiofrequency voltage levels on blood glucose levels, blood cholesterol levels, and liver histological features in diabetic mice. This experimental study employed a factorial design using male white mice (*Mus musculus*) induced with alloxan to develop diabetes. The experimental animals were divided into seven groups, consisting of one control group and six treatment groups exposed to radiofrequency at voltage levels of 1 V, 1.5 V, and 2 V for 3 minutes and 5 minutes daily over five consecutive days. The observed parameters included blood glucose and blood cholesterol levels measured using the strip test method, as well as liver histological features examined using Hematoxylin–Eosin (H&E) staining. Data were analyzed using Two-Way Analysis of Variance (TwoWay ANOVA), followed by Duncan’s Multiple Range Test (DMRT) for the liver histology data. The results showed that increasing radiofrequency voltage tended to increase blood glucose levels; however, Two-Way ANOVA indicated no significant effects of voltage variation, exposure duration, or their interaction on blood glucose levels ($p > 0.05$). Blood cholesterol levels exhibited fluctuating changes across treatment groups, with an increasing trend observed in several groups. Meanwhile, liver histological analysis revealed differences in the degree of tissue damage among the treatment groups. Statistical analysis demonstrated that radiofrequency exposure affected liver histological characteristics, although not all biochemical parameters exhibited statistically significant differences.

مستخلص البحث

أوتومو، سابتا بيما. ٢٠٢٦ تأثيرُ الجهدِ ذي التردداتِ الراديويةِ على مستوياتِ الكوليسترولِ وسكرِ الدمِ والتركيبِ النسيجيِّ للكبدِ لدى الفئرانِ المصابةِ بداءِ السكري. بحث جامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرفان: ١ (أ.د. محمد تيرونو، الماجستير) ٢ (الدكتورة أمية الشَّريفَة، الماجستير).

الكلمات الأساسية: داء السكري، الترددات الراديوية، جلوكوز في الدم، الكوليسترول في الدم، التركيب النسيجي للكبد، الفئران.

يعد داء السُّكَّر مرضًا استقلابيًا يتميز بارتفاع مستوى جلوكوز الدم نتيجة اضطراب إفراز الإنسولين أو اختلال عمله، مما قد يؤدي إلى حدوث مضاعفات مثل اضطراب شحوم الدم وتضرُّر نسيج الكبد. أحد البدائل العلاجية غير الدوائية التي بدأ تطويرها هو استخدام الترددات الراديوية (RF)، التي تنتج تأثيراً حرارياً مما يجعلها قادرة على التأثير على عملية التمثيل الغذائي في الجسم. هدفت هذه الدراسة إلى تحليل تأثير اختلاف مستويات الجهد ذي الترددات الراديوية على مستويات جلوكوز الدم، ومستويات كوليسترول الدم، والتركيب النسيجي للكبد لدى الفئران المصابة بداء السكري. استخدمت هذه الدراسة المنهج التجريبي بتصميم عاملين، وذلك باستخدام فئران بيضاء ذكور (Mus musculus) (أحدث لديها داء السكري بواسطة الألوكسان). قُسمت حيوانات التجربة إلى سبع مجموعات، شملت مجموعة ضابطة وست مجموعات تجريبية. عُرِضَت للترددات الراديوية بمجهود مختلف بلغ ١ فولت، و ٥، ١ فولت، و ٢ فولت، لمدة ٣ دقائق و ٥ دقائق يوميًا، ولمدة خمسة أيام متتالية. شملت المتغيرات المدروسة مستويات جلوكوز الدم، ومستويات كوليسترول الدم باستخدام شرائط الاختبار، بالإضافة إلى تقييم الصورة النسيجية للكبد باستخدام مقاطع مصبوغة بالهيماتوكسيلين (HE). حللت البيانات باستخدام تحليل التباين الثنائي (Two-Way ANOVA)، ثم أُتبِعَ ذلك باختبار دنكن متعدد المدى (Duncan's Multiple Range Test, DMRT) لتحليل بيانات الصورة النسيجية للكبد. أظهرت نتائج الدراسة أنَّ زيادة الجهد ذي الترددات الراديوية تؤدي إلى رفع مستويات جلوكوز الدم، إلا أنَّ نتائج تحليل التباين الثنائي (Two-Way ANOVA) بيَّنت عدم وجود تأثير ذي دلالة إحصائية لاختلاف مستويات الجهد، أو مدة التعرض، أو التفاعل بينهما في مستويات جلوكوز الدم. ($p > 0.05$). أظهرت مستويات كوليسترول الدم تغيرات متذبذبة بين مختلف المعاملات، مع وجود ميل إلى الارتفاع في بعض المجموعات، في حين أظهرت نتائج تحليل الصورة النسيجية للكبد وجود اختلاف في درجة تلويث النسيج بين مجموعات المعالجة. وبناءً على نتائج التحليل الإحصائي، كان للتعرض للترددات الراديوية تأثير في الصورة النسيجية للكبد، على الرغم من أنَّ جميع المؤشرات الكيميائية الحيوية لم تظهر فروقا ذات دلالة إحصائية.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Diabetes melitus (DM), yang sering dikenal sebagai penyakit kencing manis, merupakan gangguan metabolisme kronis yang ditandai dengan meningkatnya kadar glukosa dalam darah akibat terganggunya fungsi insulin dalam tubuh (Naby1, 2012). Jumlah penderita DM terus mengalami peningkatan setiap tahunnya dan dapat berkembang menjadi kondisi yang lebih serius apabila disertai komplikasi, seperti gangguan ginjal maupun penyakit kardiovaskular (Ahyana, 2011).

Data Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) menunjukkan bahwa meningkatnya kasus Penyakit Tidak Menular (PTM) menjadi salah satu penyebab utama kematian di Indonesia. Berdasarkan data Dinas Kesehatan Kabupaten Pekalongan tahun 2017, tercatat sebanyak 6.944 kasus diabetes melitus. Peningkatan angka kejadian DM dipengaruhi oleh berbagai faktor, di antaranya perubahan pola hidup, budaya masyarakat, serta bertambahnya angka harapan hidup yang menyebabkan perubahan struktur usia penduduk (Misnadiarly, 2006).

Penatalaksanaan diabetes melitus dilakukan dengan tujuan mengendalikan kadar gula darah agar tetap stabil sehingga dapat mengurangi risiko munculnya komplikasi penyakit lain (Sutanto, 2013). Salah satu metode terapi yang banyak digunakan adalah kombinasi obat antidiabetik oral karena mampu memberikan efek penurunan kadar glukosa darah yang lebih optimal melalui aktivitas antihiperqlikemik yang lebih kuat. Namun, penggunaan obat yang tidak tepat, baik dari segi dosis maupun interval waktu konsumsi, dapat menyebabkan terapi menjadi kurang efektif dan meningkatkan risiko

timbulnya komplikasi penyakit (Anonim, 2011). Shargel (2004) menyatakan bahwa ketepatan interval penggunaan obat sangat berpengaruh terhadap lama kerja dan efektivitas obat di dalam tubuh. Ketidaksesuaian jadwal penggunaan obat dapat menyebabkan kegagalan terapi, yang pada akhirnya berpotensi memicu munculnya penyakit komplikasi, terutama gangguan kardiovaskular.

Allah SWT menciptakan tubuh manusia dengan sistem yang sangat teratur dan seimbang. Kesehatan merupakan nikmat yang harus dijaga, sedangkan penyakit menjadi salah satu ujian bagi manusia. Dalam Islam, manusia diperintahkan untuk menjaga kesehatan serta memanfaatkan ilmu pengetahuan sebagai sarana untuk mencari pengobatan terhadap penyakit. Diabetes melitus merupakan salah satu gangguan metabolisme yang dapat memengaruhi keseimbangan tubuh, termasuk kadar glukosa, kolesterol, dan fungsi organ hati. Oleh karena itu, penelitian mengenai metode terapi maupun pengaruh suatu teknologi terhadap kondisi biologis tubuh menjadi bagian dari ikhtiar manusia dalam memahami ciptaan Allah SWT.

Allah SWT berfirman dalam QS. An-Nahl ayat 69 bahwa terdapat obat bagi manusia pada ciptaan-Nya (Kementerian Agama RI, 2019). Ayat ini menunjukkan bahwa manusia diperintahkan untuk mempelajari dan memanfaatkan ilmu pengetahuan sebagai bentuk ikhtiar dalam pengobatan penyakit (Shihab, 2002).

ثُمَّ كُلِّي مِنْ كَلِّ الثَّمَرَاتِ فَاسْلُكِي سَبِيلَ رَبِّكَ ذَلَّ لَأَيِّ رَجُلٍ مِنْ بَطْنِنا شَرَابٌ مُخْتَلَفٌ
أَلْوَنُ هـ فِيهِ شَرٌّ فَأَمَّا لِنَاسٍ إِنَّا

إِنْ دَلَّكَ لَأَيُّةٌ لِقَوْمٍ يَتَفَكَّرُونَ ﴿٦٩﴾

“Kemudian, makanlah (wahai lebah) dari segala (macam) buah-buahan lalu tempuhlah jalan-jalan Tuhanmu yang telah dimudahkan (bagimu).” Dari perutnya itu keluar minuman (madu) yang beraneka warnanya. Di dalamnya terdapat obat bagi manusia. Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda (kebesaran Allah) bagi kaum yang berpikir.” Q.S An-Nahl (16): 69

QS. An-Nahl: 69 menjelaskan bahwa Allah SWT telah menyediakan berbagai bentuk penyembuhan bagi manusia melalui ciptaan-Nya. Penyembuhan tidak hanya berasal dari bahan alami, tetapi juga dapat dikembangkan melalui ilmu pengetahuan dan teknologi sebagai hasil pemikiran manusia yang dianugerahi akal oleh Allah SWT. Penelitian mengenai pengaruh radiofrekuensi terhadap kadar glukosa, kolesterol darah, dan histologi hati merupakan salah satu bentuk usaha ilmiah untuk memahami mekanisme biologis tubuh serta mencari alternatif terapi nonfarmakologis bagi penderita diabetes.

Tujuan utama terapi diabetes adalah menjaga kadar glukosa darah tetap terkendali guna mengurangi risiko komplikasi yang dapat berakibat fatal. Penanganan diabetes dilakukan melalui dua metode utama, yaitu terapi farmakologis menggunakan obat-obatan dan terapi nonfarmakologis tanpa obat (Harikumar et al. 2015). Diabetes melitus tipe 1 (DMT1) terjadi akibat kerusakan sel β pankreas yang menyebabkan tubuh tidak mampu memproduksi insulin secara optimal, sehingga pasien memerlukan terapi insulin dari luar tubuh sepanjang hidupnya (Sorli 2014; Janez et al. 2020).

Sementara itu, pengobatan diabetes melitus tipe 2 (DMT2) umumnya menggunakan obat oral. Metformin dan sulfonilurea termasuk golongan antidiabetes yang telah digunakan sejak dekade 1950-an. Metformin menjadi terapi lini pertama pada DMT2 karena mampu menurunkan kadar glukosa darah secara efektif melalui penghambatan produksi glukosa di hati serta peningkatan pemanfaatan glukosa oleh jaringan tubuh. Selain memiliki harga yang relatif ekonomis, obat ini juga cukup aman digunakan pada pasien tanpa gangguan fungsi hati dan ginjal. Meski demikian, penggunaan metformin dapat menimbulkan beberapa efek samping, seperti mual, diare, dan risiko asidosis laktat pada penderita

dengan gangguan ginjal berat. Oleh karena itu, pemilihan terapi diabetes harus mempertimbangkan jenis diabetes, usia pasien, kondisi klinis, serta faktor individu lainnya agar pengobatan yang diberikan lebih tepat dan efektif (Olokoba et al. 2012; Chatterjee & Davies 2015; Gupta et al. 2015; Harikumar et al. 2015; MarinPeñalver et al. 2016).

Insulin umumnya diberikan secara subkutan melalui suntikan atau pompa, dan dapat pula secara intravena. Saat ini tersedia insulin manusia dan analog insulin dengan berbagai waktu kerja (Janez et al. 2020). Analog insulin kerja cepat (onset 4–20 menit, puncak 20–30 menit) meliputi Aspart, Lispro, dan Glulisine; kerja pendek (onset 30 menit, puncak 2–4 jam) seperti Actrapid, Humulin S, dan Insuman Rapid; kerja menengah (puncak 4–6 jam, durasi 14–16 jam) seperti Insulin Isophane; kerja panjang (durasi 24–36 jam) seperti Glargine dan Detemir; serta kerja sangat panjang (onset 30–90 menit, durasi hingga 42 jam) seperti Degludec. Meskipun efektif menurunkan kadar glukosa darah dan fleksibel dalam penyesuaian dosis, penggunaan insulin memiliki beberapa kekurangan, antara lain risiko hipoglikemia, peningkatan berat badan, serta memerlukan suntikan rutin dan pemantauan kadar glukosa darah secara ketat.

Meglitinid, seperti repaglinid dan nateglinid, termasuk golongan obat antihiperglikemik oral yang bekerja dengan merangsang pankreas agar meningkatkan produksi insulin. Mekanisme kerjanya dilakukan melalui penutupan kanal kalium dan pembukaan kanal pada sel β pankreas sehingga sekresi insulin meningkat. Penggunaan obat ini relatif jarang karena durasi kerjanya singkat sehingga pasien perlu mengonsumsinya lebih sering (Harikumar et al. 2015; MarinPeñalver et al. 2016; Stubbs et al. 2017). Repaglinid terutama dimetabolisme

di hati, sedangkan sebagian kecil sisanya dikeluarkan melalui ginjal (Olokoba et al. 2012).

Golongan tiazolidinedion, yang meliputi rosiglitazon, pioglitazon, dan troglitazon, juga dikenal sebagai glitazon. Obat ini bekerja dengan berikatan pada peroxisome proliferator-activated receptor-gamma (PPAR- γ), yaitu reseptor yang berperan dalam pengaturan metabolisme glukosa dan lemak serta memengaruhi gen yang berkaitan dengan sensitivitas insulin. Melalui mekanisme tersebut, penggunaan glukosa oleh sel tubuh dapat meningkat. Selain membantu pengendalian kadar gula darah, obat ini juga dilaporkan mampu menurunkan risiko komplikasi mikrovaskular hingga 2,6% (Gupta et al. 2015; Harikumar et al. 2015). Namun, dalam beberapa tahun terakhir pemanfaatannya mulai dibatasi karena dikaitkan dengan peningkatan risiko efek samping serius, seperti edema, patah tulang, gagal jantung, penyakit kardiovaskular, hingga kanker (Olokoba et al. 2012; Stubbs et al. 2017).

Selain terapi obat, edukasi kesehatan juga memiliki peranan penting dalam pengelolaan diabetes. Program pendidikan yang berfokus pada peningkatan motivasi, perubahan pola hidup, pemahaman diet, aktivitas fisik, serta kepatuhan pengobatan terbukti mampu memperbaiki kualitas hidup penderita diabetes. Program tersebut membantu pasien memahami pentingnya pembatasan kalori, peningkatan olahraga, dan pengelolaan penyakit secara mandiri sehingga dapat menurunkan berat badan, mengurangi tingkat stres, menekan risiko penyakit kardiovaskular, serta mencegah terjadinya komplikasi (Chatterjee & Davies, 2015). Meski demikian, pelaksanaan program edukasi ini juga menghadapi beberapa kendala, seperti perlunya komitmen jangka panjang, dukungan tenaga kesehatan

secara berkesinambungan, dan kesulitan pasien dalam mengubah kebiasaan lama, sehingga hasil yang diperoleh sering kali berbeda pada setiap individu.

Perubahan gaya hidup dalam pengendalian diabetes meliputi peningkatan pengetahuan tentang penyakit, pemeriksaan rutin, pemantauan mandiri kadar glukosa, serta komunikasi aktif dengan tenaga medis dan pemanfaatan teknologi kesehatan (Harikumar et al. 2015; Chatterjee & Davies 2015). Upaya ini membantu pasien lebih mandiri dan meningkatkan pengendalian kadar gula darah. Namun, kekurangannya adalah memerlukan disiplin tinggi, dukungan berkelanjutan, dan biaya tambahan untuk pemantauan serta akses terhadap teknologi yang tidak selalu terjangkau semua pasien.

Diet tinggi serat dan rendah lemak bertujuan menurunkan berat badan serta meningkatkan sensitivitas tubuh terhadap insulin (Harikumar et al. 2015). Pola makan yang tepat dapat membantu mengontrol kadar glukosa darah dengan menurunkan hemoglobin terglikasi sebesar 1,0–2,0% dan, bila dikombinasikan dengan manajemen diabetes, dapat mengurangi angka rawat inap (Sievenpiper et al. 2018). Asupan jenis dan jumlah kalori yang sesuai penting untuk menjaga kesehatan dan mencegah gangguan metabolik. Namun, diet ini memiliki kekurangan seperti kesulitan mempertahankan kepatuhan jangka panjang, risiko kekurangan nutrisi bila tidak seimbang, serta membutuhkan pengawasan ahli gizi agar hasilnya optimal (Zierath 2019).

Olahraga secara rutin berperan penting dalam pencegahan dan pengendalian diabetes. Aktivitas fisik dapat membantu menurunkan berat badan, mengurangi kadar glukosa darah, kolesterol, dan tekanan darah, mengurangi stres, serta meningkatkan sensitivitas insulin dan biogenesis mitokondria (Harikumar et al. 2015; Zierath 2019). Namun, olahraga juga memiliki kelemahan, seperti risiko

hipoglikemia pada pasien yang menggunakan insulin atau obat penurun gula darah, kemungkinan cedera atau kelelahan fisik, serta tantangan dalam mempertahankan rutinitas olahraga jangka panjang, terutama pada pasien dengan keterbatasan fisik atau motivasi rendah.

Aplikasi radiofrekuensi dapat diberikan pada banyak kondisi klinis seperti nyeri pada facet joint, trigeminal neuralgia, complex regional pain syndrome, cancer pain penggunaan pulsed radiofrequency merupakan metode nonneurodestruksi dengan nyeri minimal sebagai alternative dari radiofrekuensi continue.

Penelitian oleh Salsabiela (2023) menunjukkan bahwa paparan arus listrik radio-frekuensi (RF) pada mencit selama 5 hari dapat menurunkan kadar kolesterol darah. Mencit yang diberi paparan RF dengan tegangan 2 V selama 5 menit menunjukkan hasil paling efektif, dengan kadar kolesterol turun hingga 103 mg/dL, dibandingkan kelompok kontrol sebesar 111 mg/dL. Penurunan ini disebabkan oleh peningkatan metabolisme tubuh akibat panas yang dihasilkan RF, yang memicu pelepasan hormon epinefrin dan norepinefrin, sehingga mempercepat pemecahan lemak dan penurunan kolesterol (Hengkengbala et al., 2013; Samosir et al., 2019). Hasil serupa terlihat pada kadar asam urat mencit diabetes (Zidny, 2024), di mana paparan RF menurunkan kadar asam urat dari 6,66 mg/dL (tanpa perlakuan) menjadi 3,00 mg/dL pada kelompok 2 V selama 5 menit, meskipun belum mencapai kadar normal. Hal ini menunjukkan bahwa paparan RF efektif menurunkan kadar kolesterol dan asam urat, terutama pada durasi dan tegangan yang lebih tinggi.

Secara keseluruhan, radio-frekuensi terbukti memberikan efek metabolik positif non-farmakologis, serupa dengan terapi panas atau sauna, yang dapat meningkatkan metabolisme dan memperbaiki profil lipid darah. Namun, terapi ini belum menjadi

metode utama dalam pengobatan diabetes dan masih memerlukan penelitian lanjutan untuk memastikan keamanan serta efektivitas jangka panjangnya terhadap kadar glukosa, kolesterol, asam urat, dan fungsi hati penderita diabetes.

Terapi frekuensi radio (*Radiofrequency Therapy*) belum menjadi terapi utama untuk pengobatan diabetes. Namun, terapi frekuensi radio umumnya digunakan untuk pengobatan berbagai kondisi medis, terutama dalam bidang intervensi radiologi. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai keefektifan terapi frekuensi radio (RF) untuk menangani kadar glukosa, kolesterol darah, serta histologi hati pada penderita diabetes.

Meningkatnya kasus berbagai penyakit seperti diabetes, hiperkolesterolemia, hiperglikemia, hiperurisemia, anemia, stroke, dan penyakit jantung koroner dari tahun ke tahun mendorong dilakukannya penelitian mengenai pengaruh arus listrik Radio-Frekuensi terhadap komposisi darah dan sistem sirkulasi. Penelitian ini difokuskan pada pengamatan kadar glukosa darah, kadar kolesterol, serta gambaran histologi hati pada penderita diabetes dengan tujuan mengetahui potensi peningkatan kondisi kesehatan tubuh.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh tegangan Radio-Frekuensi terhadap kadar glukosa menci diabetes?
2. Bagaimana pengaruh tegangan Radio-Frekuensi terhadap kadar kolesterol menci diabetes?
3. Bagaimana pengaruh tegangan Radio-Frekuensi terhadap Gambaran histologi hati pada menci diabetes?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, tujuan yang ingin dicapai adalah:

1. Menganalisis pengaruh tegangan Radio-Frekuensi terhadap kadar glukosa mencit diabetes.
2. Menganalisis pengaruh tegangan Radio-Frekuensi terhadap kadar kolesterol mencit diabetes.
3. Menganalisis pengaruh tegangan Radio-Frekuensi terhadap perubahan histologi hati mencit diabetes.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat:

1. Menambah pengetahuan tentang pengaruh tegangan Radio-Frekuensi (RF) terhadap metabolisme glukosa, kolesterol, dan struktur histologi hati pada mencit diabetes.
2. Memberikan pemahaman tentang mekanisme bioelektrik RF dalam memodulasi proses biokimia tubuh, terutama pada regulasi kadar glukosa dan lipid.
3. Menjadi dasar ilmiah bagi pengembangan konsep terapi non-farmakologis berbasis gelombang elektromagnetik untuk penanganan diabetes melitus.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Radio-Frekuensi

Radiofrekuensi (RF) merupakan prosedur yang menggunakan arus AC (alternating current) berfrekuensi tinggi untuk menghasilkan panas pada jaringan biologis. Arus ini menyebabkan molekul jaringan berosilasi sehingga timbul gesekan antarmolekul yang menghasilkan panas, yang selanjutnya dapat memengaruhi aktivitas metabolik sel (William, 2011). Panas yang dihasilkan RF bekerja mirip dengan terapi panas atau sauna, yaitu merangsang peningkatan metabolisme tubuh, termasuk metabolisme lipid dan glukosa, melalui respons hipotalamus terhadap peningkatan suhu tubuh. Terdapat dua bentuk utama penggunaan RF, yaitu Continuous Radiofrequency (CRF) dan Pulsed Radiofrequency (PRF). CRF menghasilkan lesi termal pada target jaringan dengan suhu antara 60–100°C, menyebabkan koagulasi protein dan kematian sel pada area sasaran (Lord, 2002). Sebaliknya, PRF menghantarkan pulsasi arus RF dalam waktu singkat (short bursts) sehingga menghasilkan efek neuromodulator dengan risiko kerusakan jaringan yang lebih kecil (Kim, 2012). Mekanisme PRF diyakini bekerja melalui perubahan transmisi sinaptik dan aktivasi protein c-Fos di cornu dorsalis, yang berperan dalam menghambat transmisi nyeri dan menstimulasi respon neurometabolik (Van Zundert, 2005).

Secara teknis, perangkat RF terdiri dari generator dan elektroda logam dengan ujung aktif yang menghantarkan arus berfrekuensi tinggi (50–500 kHz) dan daya sekitar 150–200 W (Goldberg, 2021). Elektroda menghasilkan panas lokal di sekitar ujung jarum, di mana suhu 45°C sudah cukup menyebabkan kerusakan sel,

sedangkan suhu optimal untuk efek ablasi adalah sekitar 80°C selama 60 detik (Hong, 2011). Dalam konteks penelitian terhadap mencit diabetes, paparan RF pada berbagai tegangan dapat meningkatkan metabolisme tubuh, menstimulasi pemecahan lemak (lipolisis), dan memperbaiki profil lipid serta glukosa darah. Peningkatan suhu jaringan akibat RF dapat merangsang pelepasan hormon epinefrin dan norepinefrin, yang mengaktifkan enzim lipase untuk memecah trigliserida menjadi asam lemak bebas. Asam lemak ini kemudian dimanfaatkan sebagai sumber energi oleh jaringan otot, sehingga menurunkan kadar kolesterol dan glukosa darah, serta dapat memperbaiki histologi hati melalui penurunan akumulasi lemak (Samosir et al., 2019; Hengkengbala et al., 2013).

2.2 Diabetes

Diabetes melitus merupakan penyakit metabolik yang ditandai dengan meningkatnya kadar glukosa darah (hiperglikemia) disertai gangguan metabolisme karbohidrat, lemak, dan protein akibat gangguan sekresi insulin maupun penurunan kerja insulin secara relatif ataupun absolut. Penderita diabetes melitus umumnya mengalami beberapa gejala, seperti sering merasa haus (polidipsia), sering buang air kecil (poliuria), peningkatan nafsu makan (polifagia), penurunan berat badan, serta sensasi kesemutan pada anggota tubuh (Buraerah, 2017).

International Diabetes Federation (IDF) melaporkan bahwa prevalensi diabetes melitus di dunia mencapai 1,9% dan menjadikan penyakit ini sebagai salah satu penyebab kematian terbesar di dunia, yaitu pada urutan ketujuh. Pada tahun 2012, jumlah penderita diabetes melitus secara global mencapai sekitar 371 juta jiwa, dengan sekitar 95% kasus merupakan diabetes melitus tipe 2. Hasil Riset Kesehatan Dasar tahun 2008 juga menunjukkan peningkatan prevalensi diabetes melitus di Indonesia hingga mencapai 57%. Tingginya angka kejadian diabetes tipe

2 dipengaruhi oleh faktor yang tidak dapat diubah, seperti usia, jenis kelamin, dan faktor keturunan, serta faktor yang dapat dimodifikasi, antara lain tingkat pendidikan, pekerjaan, aktivitas fisik, kebiasaan merokok, konsumsi alkohol, indeks massa tubuh, dan lingkaran pinggang (Harding & Teixeira L, 2011).

Diabetes melitus sering disebut sebagai the silent killer karena penyakit ini dapat menyerang berbagai organ tubuh dan memicu beragam komplikasi serius. Beberapa komplikasi yang dapat muncul meliputi gangguan penglihatan, katarak, penyakit jantung, gangguan ginjal, impotensi, luka yang sulit sembuh hingga mengalami gangren, infeksi paru-paru, gangguan pembuluh darah, serta stroke. Pada kondisi yang sudah berat, penderita diabetes bahkan dapat mengalami amputasi akibat terjadinya pembusukan jaringan tubuh (Departemen Kesehatan, 2005).

2.3 Glukosa Darah

Glukosa darah memiliki peranan penting sebagai sumber energi utama dalam tubuh, terutama untuk mendukung proses metabolisme dan aktivitas otak. Glukosa dalam darah berasal dari karbohidrat yang dikonsumsi melalui makanan, kemudian disimpan dalam bentuk glikogen di hati dan otot rangka (Joyce, 2006).

Diagnosis diabetes melitus dapat ditegakkan apabila hasil pemeriksaan glukosa darah sewaktu menunjukkan kadar ≥ 140 mg/dl atau kadar glukosa darah puasa > 120 mg/dl. Pemeriksaan kadar glukosa darah merupakan salah satu parameter utama dalam mendeteksi diabetes melitus. Pada awalnya pemeriksaan dilakukan menggunakan darah lengkap, namun serum diketahui memiliki kandungan glukosa yang lebih tinggi dibandingkan darah lengkap karena eritrosit mengandung hemoglobin dalam jumlah besar. Oleh sebab itu, pemeriksaan kadar glukosa dapat dilakukan menggunakan darah lengkap, serum, maupun plasma. Penentuan kadar glukosa darah dilakukan dengan berbagai metode, salah satunya

memanfaatkan sifat glukosa yang mampu mereduksi ion logam tertentu atau menggunakan bantuan enzim glukosa oksidase. Enzim tersebut berfungsi mengubah glukosa menjadi asam glukonat. Glukosa sendiri merupakan salah satu jenis karbohidrat penting yang berfungsi sebagai sumber energi utama bagi tubuh, khususnya otak dan sel darah merah (Marks, 2006).

Glukosa diperoleh dari makanan yang mengandung karbohidrat, baik dalam bentuk monosakarida, disakarida, maupun polisakarida. Karbohidrat yang masuk ke dalam tubuh akan diubah menjadi glukosa di hati, kemudian digunakan untuk menghasilkan energi. Setelah diserap oleh usus halus, glukosa diedarkan melalui aliran darah menuju seluruh sel tubuh. Sebagian glukosa disimpan dalam bentuk glikogen sebagai cadangan energi, sedangkan sisanya berada di dalam plasma darah sebagai glukosa darah (blood glucose). Dalam tubuh, glukosa berfungsi sebagai bahan bakar utama proses metabolisme dan menjadi sumber energi utama bagi otak.

Proses metabolisme glukosa menghasilkan beberapa senyawa, seperti asam piruvat, asam laktat, dan asetil koenzim A. Apabila glukosa mengalami oksidasi sempurna, maka akan terbentuk karbondioksida, air, dan energi yang dapat disimpan di hati maupun otot dalam bentuk glikogen. Selain itu, hati juga dapat mengubah kelebihan glukosa melalui jalur metabolisme lain menjadi asam lemak yang disimpan sebagai trigliserida atau menjadi asam amino untuk pembentukan protein. Dengan demikian, hati memiliki peran penting dalam mengatur pemanfaatan glukosa, apakah digunakan langsung sebagai sumber energi, disimpan sebagai cadangan, atau dimanfaatkan untuk kebutuhan struktural tubuh (Sacher, 2006).

2.4 Kolesterol

Kolesterol merupakan senyawa lemak yang diproduksi oleh hati dan dibutuhkan tubuh untuk menjalankan berbagai fungsi fisiologis. Namun, apabila jumlah kolesterol dalam darah berlebihan, kondisi tersebut dapat menimbulkan gangguan kesehatan, terutama pada pembuluh darah jantung dan otak. Sekitar 80% kolesterol dalam darah diproduksi secara alami oleh tubuh, sedangkan sisanya berasal dari makanan yang dikonsumsi (Siswono, 2006). Menurut Fikri (2013), kolesterol termasuk salah satu komponen lemak kompleks yang penting bagi tubuh, sama halnya dengan karbohidrat, protein, vitamin, dan mineral. Sumber kolesterol alami dapat diperoleh dari berbagai bahan pangan hewani seperti daging sapi, kambing, babi, ayam, ikan, serta telur. Konsumsi makanan tinggi lemak secara berlebihan dapat meningkatkan kadar kolesterol dan berisiko menyebabkan tekanan darah meningkat.

Kadar kolesterol yang tinggi memiliki hubungan erat dengan berbagai penyakit degeneratif, seperti diabetes melitus, hiperlipidemia, dan penyakit jantung (Muhammadun, 2010). Kolesterol total terdiri atas beberapa komponen, di antaranya trigliserida, kolesterol LDL, dan kolesterol HDL. Sekitar dua pertiga kolesterol dalam tubuh diproduksi oleh hati, sedangkan sepertiganya diperoleh melalui penyerapan makanan oleh sistem pencernaan. Penumpukan kolesterol berlebih di dalam pembuluh darah dapat memicu aterosklerosis, yaitu penyempitan pembuluh darah akibat timbunan lemak, yang menjadi faktor risiko utama penyakit jantung koroner dan stroke (Harti, 2014). Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) memperkirakan bahwa sekitar 20% kasus stroke dan lebih dari 50% serangan jantung berkaitan dengan tingginya kadar kolesterol darah. Karena itu, kolesterol menjadi salah satu faktor risiko yang masih dapat dikendalikan melalui penerapan pola hidup sehat. Penelitian Physicians' Health Study (2006) menunjukkan bahwa

pria dengan hipertensi dan kadar kolesterol tinggi memiliki risiko lebih besar mengalami perkembangan hipertensi dibandingkan pria dengan kadar kolesterol normal (Harefa, 2009).

Berbagai faktor dapat memengaruhi kadar kolesterol dalam darah, antara lain faktor keturunan, usia, jenis kelamin, kebiasaan merokok, konsumsi alkohol, rendahnya konsumsi buah dan sayuran, obesitas, diabetes melitus, stres, serta kebiasaan mengonsumsi kopi secara berlebihan (Nilawati dkk., 2008). Penelitian yang dilakukan oleh Robyyatun (2015) pada pasien hipertensi usia 36–45 tahun di Desa Jabon, Kabupaten Jombang, menunjukkan bahwa sebagian besar responden mengalami hipertensi disertai kadar kolesterol total yang berada pada ambang batas tinggi. Hasil penelitian tersebut menunjukkan adanya hubungan antara hipertensi dengan peningkatan kadar kolesterol total dalam darah.

2.5 Histologi Hati

Hati merupakan organ terbesar di dalam tubuh yang berada pada rongga abdomen tepat di bawah diafragma. Organ ini tersusun atas sel-sel yang memiliki fungsi endokrin, eksokrin, serta berperan dalam mendistribusikan hasil metabolisme ke berbagai organ tubuh lainnya (Junqueira et al., 1998). Zat-zat yang berasal dari makanan dan minuman akan dicerna serta diserap oleh sistem pencernaan, kemudian dialirkan ke hati untuk menjalani proses detoksifikasi sebagai tahap penyaringan pertama terhadap senyawa yang masuk ke dalam tubuh (Ganiswarna et al., 1995). Dalam proses tersebut, hati bekerja menetralkan racun dengan menguraikan senyawa toksik menjadi bentuk yang lebih sederhana, seperti urea, amonia, dan asam urat (Sudatri et al., 2016). Oleh karena itu, hati menjadi organ yang sangat rentan mengalami kerusakan akibat paparan zat beracun (Wulandari, 2008).

Sebagai kelenjar tambahan pada sistem pencernaan, hati terletak di bagian kanan atas rongga abdomen dengan permukaan atas yang mengikuti bentuk kubah diafragma. Salah satu fungsi utama hati adalah menghasilkan dan mensekresikan empedu yang berperan penting dalam proses pencernaan (Ozougwu, 2017). Selain itu, hati juga berfungsi dalam metabolisme berbagai nutrisi dan vitamin yang diserap dari saluran pencernaan sebelum dimanfaatkan oleh jaringan tubuh lainnya. Mengingat peran hati yang sangat penting dan kompleks, kerusakan pada organ ini dapat memengaruhi fungsi berbagai jaringan dan organ tubuh lainnya (Niranjan, 2016; Ozougwu, 2017).

Hati juga memiliki peranan penting dalam menjaga kestabilan kadar glukosa darah agar tetap berada dalam rentang normal. Peningkatan kadar glukosa darah dapat menyebabkan terganggunya keseimbangan reaksi oksidasi dan reduksi pada hepatosit serta proses detoksifikasi di hati. Kondisi tersebut dapat memicu pembentukan radikal bebas dan meningkatkan berbagai penanda stres oksidatif yang berkaitan dengan munculnya berbagai penyakit (Abolfathi dkk., 2012).

2.6 Efek Radio-Frekuensi terhadap Penurunan Kadar Glukosa dan Kolesterol Darah

Paparan radio-frekuensi dapat menghasilkan efek termal atau panas. Interaksi antara elektron dari energi listrik dengan radikal bebas menyebabkan gesekan, yang mengubah energi menjadi panas dalam tubuh. Kejadian ini bisa disimpulkan oleh persamaan bioheat (Pennes) — untuk memodelkan kenaikan suhu:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = k \nabla^2 T + \omega_b \rho_b c_b (T_b - T) + \frac{\partial T}{Q_{\text{met}} + q_{\text{Joule}}} \quad (2.1)$$

Keterangan:

ρ, c : Densitas dan kapasitas panas jaringan;

k : Konduktivitas termal;

ω_b : Laju aliran darah (per unit volume jaringan);

ρ_b, c_b, T_b : Parameter darah;

Q_{met} : Metabolic heat;

$q_{joule} = \sigma E^2$: Sumber eksternal

Persamaan di atas menjelaskan bahwa perubahan suhu jaringan biologis terhadap waktu dipengaruhi oleh beberapa faktor utama. Proses konduksi panas ($k\nabla^2 T$) menggambarkan penyebaran panas di dalam jaringan akibat perbedaan suhu antar titik, sedangkan perfusi darah ($\omega \rho_b c_b (T_b - T)$) menunjukkan efek pendinginan alami oleh aliran darah yang membawa panas keluar dari jaringan. Selain itu, panas metabolik (Q_{met}) merupakan panas yang dihasilkan dari aktivitas metabolisme sel, dan panas akibat arus listrik (q_{Joule}) menjadi komponen utama dalam penelitian efek arus listrik atau Radio-Frekuensi, karena menggambarkan panas yang muncul akibat penyerapan energi listrik oleh jaringan atau dikenal sebagai efek Joule.

Ketika jaringan biologis diberi paparan arus AC tegangan rendah, akan timbul medan listrik (E) di dalam jaringan yang menyebabkan aliran arus listrik dengan kerapatan $J = \sigma E$. Energi listrik yang diserap oleh jaringan ini kemudian diubah menjadi panas melalui efek Joule, yang dinyatakan dengan persamaan $q_{Joule} = \sigma |E|^2$. Panas yang dihasilkan dapat menyebabkan kenaikan suhu lokal (ΔT) pada jaringan, dan peningkatan suhu ini selanjutnya dapat memengaruhi aktivitas metabolisme sel, mengubah struktur histologi jaringan, serta berdampak pada kadar biokimia tubuh seperti glukosa dan kolesterol.

Selama proses paparan radio-frekuensi berlangsung, terjadi pula proses elektrolisis akibat aliran listrik yang melewati konduktor. Proses tersebut berlangsung ketika elektron berpindah dari potensial negatif yang lebih tinggi menuju potensial yang lebih rendah melalui konduktor radio-frekuensi (Riyanto & Agustiningsih W.A., 2018). Elektron yang dilepaskan oleh konduktor

radiofrekuensi sebagai anoda memicu terjadinya reaksi oksidasi, sedangkan tubuh mencit yang menerima elektron sebagai katoda mengalami proses reduksi (Mulyati, 2003).

Pemberian arus listrik radio-frekuensi dengan tegangan 1,5 V selama 5 menit dan 2 V selama 3 menit diketahui mampu menurunkan kadar kolesterol hingga mencapai 103 mg/dL. Sementara itu, perlakuan dengan tegangan 2 V selama 5 menit menurunkan kadar kolesterol hingga 109 mg/dL. Berdasarkan hasil tersebut, perlakuan menggunakan radio-frekuensi dengan tegangan 2 V selama 5 menit dinilai paling efektif dalam membantu menurunkan kadar kolesterol darah (Salsabiela, 2023).

Penurunan kadar kolesterol pada kelompok perlakuan selama 5 menit diduga terjadi karena durasi paparan yang lebih lama secara terus-menerus dapat mempercepat proses degradasi lemak. Kondisi ini berkaitan dengan peningkatan aktivitas hormon epinefrin dan norepinefrin yang merangsang kerja enzim lipase, sehingga pemecahan trigliserida dan mobilisasi asam lemak berlangsung lebih cepat. Asam lemak tersebut kemudian digunakan sebagai sumber energi oleh otot, sehingga kadar kolesterol LDL dalam tubuh mengalami penurunan yang signifikan (Samosir et al., 2019).

Efek aliran arus listrik radio-frekuensi memiliki kemiripan dengan terapi panas seperti sauna, yaitu sama-sama bertujuan meningkatkan suhu inti tubuh walaupun mekanisme kerjanya berbeda. Peningkatan suhu inti tubuh secara berulang diketahui dapat memberikan efek positif terhadap pembuluh darah lebih besar dari yang diperkirakan sebelumnya. Perlakuan panas terbukti mampu menurunkan kadar kolesterol total dan kolesterol LDL. Oleh karena itu, pada individu yang tidak mampu melakukan aktivitas aerobik secara optimal, terapi

panas melalui radio-frekuensi dapat menjadi salah satu alternatif untuk meningkatkan suhu inti tubuh (Brodmerkel & Taylor, 2016).

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa paparan arus listrik radiofrekuensi pada setiap kelompok perlakuan mampu menurunkan kadar asam urat pada mencit diabetes, meskipun nilainya belum mencapai batas normal. Paparan radio-frekuensi menghasilkan efek termal berupa panas akibat interaksi elektron dari energi listrik dengan radikal bebas di dalam tubuh. Gesekan yang terjadi selama proses tersebut menyebabkan perubahan energi listrik menjadi energi panas.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen untuk mengetahui pengaruh pemberian tegangan Radio-Frekuensi terhadap kadar glukosa darah, kadar kolesterol, serta gambaran histologi hati pada mencit diabetes. Sebanyak 21 ekor mencit putih yang telah diinduksi aloksan dibagi menjadi satu kelompok kontrol tanpa perlakuan dan enam kelompok perlakuan. Kelompok perlakuan diberikan paparan Radio-Frekuensi dengan tiga variasi tegangan, yaitu 1 V, 1,5 V, dan 2 V. Setiap variasi tegangan diterapkan dengan dua durasi perlakuan yang berbeda, yakni selama 3 menit dan 5 menit.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Desember 2025 di Laboratorium Fisiologi Hewan, Laboratorium Kandang Hewan Coba, dan Laboratorium Optik Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.3 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan pada penelitian ini ialah:

1. Radio-Frekuensi
2. Aloksan monohidrat
3. Larutan NaCl
4. Mencit Jantan siloskop
5. Multimeter digital
6. Kabel penghubung

20

7. Spidol permanen
8. Kertas label
9. Pakan mencit (BR 1)
10. Nipel (tempat minum hewan coba)
11. Minuman mencit (air putih)
12. Kandang hewan coba
13. Sekam
14. Masker
15. Pencukur Veet
16. Gunting
17. Sarung tangan latex
18. Alkohol swabs
19. Strip kolesterol
20. Strip glukotest
21. *Easy touch* GCU meter device
22. Suntik 1ml/cc
23. Timbangan digital
24. Gelas ukur
25. Labu Erlenmeyer tutup asah
26. Spatula

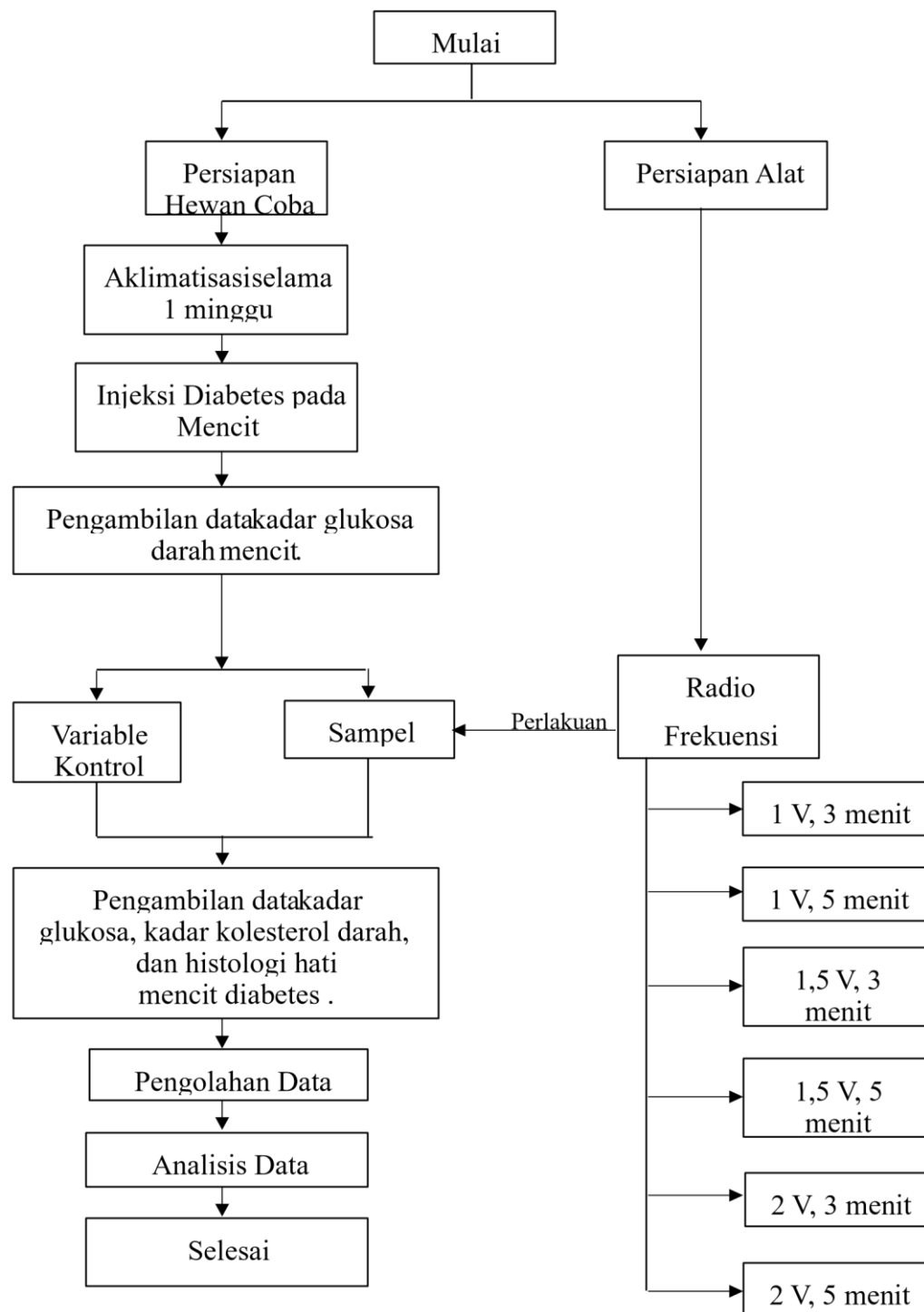
3.4 Variabel Penelitian

1. Variabel bebas: Tegangan Radio-Frekuensi dan waktu perlakuan.
2. Variabel terikat: Kadar glukosa, kadar kolesterol darah, dan histologi hati mencit diabetes.

3.5 Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan 21 ekor mencit putih (*Mus musculus*) jantan berumur 8 minggu dengan berat badan rata-rata sekitar 25–30 gram. Seluruh mencit diinduksi menggunakan aloksan monohidrat melalui penyuntikan intraperitoneal dengan dosis 8,4 mg/kg berat badan. Setelah proses induksi, mencit diberikan paparan arus listrik Radio-Frekuensi dengan variasi tegangan 1 V, 1,5 V, dan 2 V. Setiap variasi tegangan diterapkan dalam dua durasi perlakuan, yaitu selama 3 menit dan 5 menit, yang dilakukan setiap hari selama lima hari berturut-turut.

3.6 Diagram Alir



3.6.1 Persiapan Hewan Coba

Hewan uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah 21 ekor mencit putih (*Mus musculus*) jantan dengan usia rata-rata 8 minggu. Sebelum perlakuan diberikan, seluruh hewan coba terlebih dahulu menjalani proses aklimatisasi selama 7 hari. Mencit ditempatkan di dalam kandang berdasarkan kelompok perlakuan,

dengan masing-masing kandang berisi tiga ekor mencit. Sekam yang digunakan sebagai alas kandang diganti setiap hari untuk menjaga kebersihan lingkungan pemeliharaan. Selama masa pemeliharaan, mencit diberikan pakan BR 1 satu kali sehari dengan jumlah yang sama pada setiap hewan, serta disediakan 100 ml air minum melalui botol atau nipel mencit.

3.6.2 Induksi Diabetes pada Mencit

Induksi diabetes pada mencit dilakukan menggunakan aloksan monohidrat yang diberikan secara intraperitoneal melalui bagian perut dengan dosis tunggal sebesar 8,4 mg/kg berat badan. Setelah 72 jam pascainduksi, dilakukan pemeriksaan kadar glukosa darah untuk memastikan kondisi diabetes pada hewan uji. Pengukuran glukosa darah dilakukan dengan mengambil sampel darah dari ekor mencit yang sebelumnya telah dibersihkan menggunakan alkohol. Darah kemudian diteteskan pada strip glukotest dan dianalisis menggunakan glukometer untuk mengetahui kadar glukosanya. Mencit dinyatakan mengalami diabetes melitus apabila kadar glukosa darah mencapai ≥ 200 mg/dl. Selanjutnya, mencit yang telah terindikasi diabetes dibagi ke dalam tujuh kelompok perlakuan.

Larutan aloksan monohidrat dibuat sesaat sebelum proses injeksi dengan melarutkan 176,4 mg aloksan ke dalam 21 ml larutan NaCl fisiologis hingga homogen. Setiap mencit kemudian diberikan injeksi aloksan sebanyak 1 ml secara intraperitoneal.

3.6.3 Perlakuan Radio-Frekuensi pada Hewan Coba

Kelompok pertama digunakan sebagai kelompok kontrol tanpa pemberian aliran arus listrik Radio-Frekuensi. Sementara itu, enam kelompok lainnya ditempatkan pada kandang terpisah yang telah diberi label sesuai jenis perlakuan. Setiap mencit juga diberi tanda menggunakan spidol permanen untuk membedakan tiap pengulangan penelitian. Mengacu pada penelitian Abdul Munir et al. (2020),

paparan arus listrik diberikan pada mencit secara individual dengan durasi perlakuan 3 menit dan 5 menit untuk setiap variasi tegangan, yang dilakukan setiap hari selama lima hari berturut-turut.

Radio-Frekuensi digunakan sebagai sumber aliran arus listrik pada enam kelompok hewan percobaan. Sebelum perlakuan dilakukan, bagian perut mencit yang akan menjadi area paparan terlebih dahulu dicukur menggunakan krim cukur Veet hingga permukaan kulit terlihat jelas. Selama proses perlakuan berlangsung, mencit dipegang dengan memberikan sedikit tarikan pada bagian kulit kepala dan punggung agar pemberian perlakuan dapat dilakukan dengan lebih mudah dan stabil.

3.6.4 Pengukuran Kadar Glukosa, Kolesterol Darah, serta Histologi Hati

Mencit Diabetes

Pengukuran kadar glukosa dan kolesterol darah dilakukan menggunakan metode tes strip. Sebelum pengambilan sampel darah, ekor mencit terlebih dahulu dibersihkan menggunakan alkohol, kemudian bagian ujung ekor dipotong sedikit menggunakan gunting. Darah yang keluar selanjutnya diteteskan pada strip pengujian sesuai parameter yang akan diperiksa dan telah terpasang pada alat pembaca. Setelah proses pengambilan darah selesai, bagian ekor kembali dibersihkan menggunakan alkohol. Hasil pengukuran kadar glukosa maupun kolesterol akan ditampilkan pada alat dan kemudian dicatat. Pemeriksaan kadar glukosa darah dan kolesterol dilakukan menggunakan strip yang berbeda untuk masing-masing parameter.

Pengamatan histologi hati dilakukan setelah proses induksi aloksan serta pengukuran kadar glukosa dan kolesterol darah selesai dilaksanakan. Pemeriksaan dilakukan dengan membedah mencit untuk mengambil organ hati, kemudian preparat hati diamati menggunakan mikroskop guna melihat perubahan jaringan

hati yang terjadi. Pengamatan histologi ini dilakukan pada dua kelompok, yaitu kelompok yang mendapatkan perlakuan dan kelompok tanpa perlakuan.

3.6.5 Teknik Pengolahan Data

Tabel 3.1.1 Data Hasil Kadar glukosa Mencit Diabetes

Tegangan (V)	Waktu (menit)	Kadar Glukosa (mg/dL)				SD
		1	2	3	Rata-rata	
Kontrol	3					
	5					
1	3					
	5					
1,5	3					
	5					
2	3					
	5					

Tabel 3.1.2 Data Hasil Kadar kolesterol Mencit Diabetes

Tegangan (V)	Waktu (menit)	Kadar Kolesterol (mg/dL)				SD
		1	2	3	Rata-rata	
Kontrol	3					
	5					
1	3					
	5					
1,5	3					
	5					
2	3					
	5					

Tabel 3.1.3 Data Histologi Hati Mencit Diabetes

Data histologi hati berupa citra mikroskopis yang diperoleh dari preparat jaringan hati mencit diabetes yang telah dilakukan pewarnaan *Hematoksilin–Eosin* (HE). Citra histologi diamati menggunakan mikroskop cahaya pada perbesaran tertentu dan didokumentasikan menggunakan kamera mikroskop digital dalam format gambar. Selanjutnya, citra histologi dilakukan proses pra-pengolahan meliputi penentuan area pengamatan (region of interest), peningkatan kualitas citra, serta penyesuaian kontras untuk memperjelas struktur jaringan. Analisis histologi

hati dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan dengan mengamati perubahan morfologi jaringan hati seperti degenerasi sel hepatosit, nekrosis, perubahan inti sel, dilatasi sinusoid, serta infiltrasi sel radang. Analisis kuantitatif dilakukan menggunakan metode skoring histopatologi berdasarkan tingkat kerusakan jaringan hati pada beberapa lapang pandang, kemudian nilai skor dirata-ratakan untuk setiap sampel. Data kuantitatif histologi hati selanjutnya dianalisis secara statistik menggunakan perangkat lunak IBM SPSS 26 dengan uji *Two Way* (ANOVA) untuk mengetahui pengaruh tegangan radiofrekuensi terhadap gambaran histologi hati mencit diabetes. Apabila terdapat perbedaan yang signifikan, analisis dilanjutkan dengan uji *Post Hoc* DMRT dengan tingkat signifikansi statistik ditetapkan sebesar $p < 0,05$ untuk menentukan perlakuan yang memberikan efek paling signifikan.

3.6.6 Teknik Pengumpulan Data pada Histologi Hati

Teknik pengolahan data pada penelitian histologi hati mencit dilakukan melalui beberapa tahap yang sistematis. Pertama, setelah mencit dikorbankan sesuai prosedur etik, organ hati diambil dan difiksasi menggunakan larutan formalin 10% selama kurang lebih 24 jam untuk mempertahankan struktur jaringan. Selanjutnya jaringan mengalami proses dehidrasi, clearing, infiltrasi parafin, dan embedding, kemudian dipotong tipis menggunakan mikrotom dengan ketebalan sekitar 3–5 mikrometer. Potongan jaringan tersebut diwarnai menggunakan pewarnaan *Hematoxylin-Eosin* (HE) agar struktur inti dan sitoplasma sel tampak jelas di bawah mikroskop. Pewarnaan khusus seperti PAS atau *Masson's Trichrome* juga dapat digunakan untuk melihat komponen tertentu seperti glikogen atau fibrosis. Preparat kemudian diamati di bawah mikroskop cahaya dengan pembesaran tertentu (misalnya 100x dan 400x) untuk mengidentifikasi struktur hati seperti hepatosit, sinusoid, dan vena sentral, serta menilai adanya perubahan

patologis seperti nekrosis, degenerasi lemak, atau peradangan. Hasil pengamatan didokumentasikan menggunakan kamera mikroskop digital, kemudian citra yang dihasilkan diolah dengan perangkat lunak seperti ImageJ atau ToupView untuk melakukan analisis morfometri, seperti menghitung luas area kerusakan jaringan atau jumlah hepatosit.

3.6.7 Kriteria Pengukuran Histologi Hati

Kriteria pengukuran histologi hati pada mencit diabetes secara umum mencakup beberapa parameter utama yang mencerminkan tingkat kerusakan sel dan perubahan struktur jaringan. Penilaian biasanya dilakukan secara semikuantitatif menggunakan skala skor tertentu, misalnya 0–4, berdasarkan derajat kelainan yang ditemukan pada preparat *hematoksilin-eosin* (H&E).

Parameter yang dinilai meliputi tingkat degenerasi sel hepatosit, seperti perubahan menjadi vakuoler atau ballooning, yang menunjukkan gangguan metabolik akibat diabetes maupun perlakuan radiofrekuensi. Selain itu, nekrosis hepatosit juga menjadi indikator penting dan dinilai berdasarkan persentase area jaringan yang mengalami kerusakan sel. Peradangan portal maupun lobular dievaluasi berdasarkan jumlah infiltrasi sel inflamasi, seperti limfosit atau makrofag, di area portal maupun di dalam lobulus hati. Penilaian steatosis dapat dimasukkan apabila ditemukan akumulasi lemak di dalam hepatosit, dengan skala yang menggambarkan persentase sel yang terlibat. Kongesti sinusoid, perubahan arsitektur lobulus, serta kondisi vena sentralis juga dapat menjadi aspek tambahan bila relevan dengan model penyakit. Melalui sistem penilaian ini, setiap parameter diberikan skor tertentu yang mencerminkan tingkat keparahan, sehingga total skor histologi dapat digunakan sebagai indikator kuantitatif untuk membandingkan efek perlakuan antar kelompok.

3.6.8 Teknik Analisis Data

Analisis data pada penelitian mengenai pengaruh tegangan radiofrekuensi terhadap kadar glukosa, kolesterol darah, serta histologi hati pada mencit diabetes dilakukan menggunakan perangkat lunak Origin 2018. Data awal dimasukkan ke dalam worksheet dengan kolom berisi ID hewan, kelompok perlakuan, kadar glukosa, kadar kolesterol, dan skor atau nilai kuantitatif histologi hati. Sebelum dianalisis, data diperiksa melalui proses pra-pengolahan meliputi pengecekan nilai hilang, deteksi outlier, serta pengujian asumsi statistik seperti normalitas menggunakan uji Shapiro–Wilk atau Anderson–Darling dan homogenitas varians menggunakan uji Levene atau Bartlett. Jika data berdistribusi normal dan memiliki varians homogen, maka analisis kadar glukosa dan kolesterol dilakukan dengan One-Way ANOVA untuk membandingkan beberapa kelompok perlakuan, dilanjutkan uji post-hoc Tukey HSD untuk mengetahui perbedaan antar pasangan kelompok. Pada data yang tidak memenuhi asumsi normalitas maupun homogenitas, analisis diganti dengan metode nonparametrik Kruskal–Wallis disertai uji Mann–Whitney dengan koreksi Bonferroni pada perbandingan dua kelompok.

Analisis histologi hati disesuaikan dengan jenis datanya. Jika berupa skor ordinal (misalnya 0–4), maka uji Kruskal–Wallis digunakan sebagai metode utama, sedangkan jika data berupa nilai kuantitatif seperti persentase area kerusakan, maka analisis dapat menggunakan ANOVA atau Kruskal–Wallis sesuai distribusi datanya. Untuk melengkapi analisis, hubungan antar variabel seperti korelasi antara glukosa dengan kolesterol atau glukosa dengan parameter histologi dianalisis melalui uji korelasi Pearson (untuk data normal) atau Spearman (untuk data nonparametrik), dan apabila diperlukan, dilakukan pemodelan regresi linear untuk melihat kecenderungan hubungan antar variabel.

Visualisasi data dibuat menggunakan fitur grafis Origin 2018, seperti box plot untuk menggambarkan distribusi setiap kelompok, grafik batang dengan error bar untuk menunjukkan perbedaan rerata, serta scatter plot dengan garis regresi untuk analisis korelasi. Semua grafik diberi label lengkap dan anotasi signifikansi hasil uji statistik. Hasil analisis kemudian dilaporkan dalam bentuk nilai mean $\pm$ SD atau median (IQR), disesuaikan dengan karakteristik data, beserta nilai statistik lengkap seperti F, p, atau nilai uji nonparametrik. Seluruh prosedur ini memastikan bahwa data dianalisis secara sistematis, memenuhi asumsi statistik, serta menghasilkan interpretasi yang valid tentang pengaruh tegangan radiofrekuensi terhadap parameter biologis mencit diabetes.

Analisis lanjutan dilakukan menggunakan IBM SPSS 26 untuk mengetahui pengaruh masing-masing variabel bebas terhadap kadar glukosa, kolesterol, serta parameter histologi hati melalui uji *Two Way* (ANOVA). Data dari setiap kelompok perlakuan dimasukkan ke dalam SPSS dengan mendefinisikan variabel bebas, misalnya tingkat tegangan radiofrekuensi dan status diabetes, sementara variabel terikat berupa kadar glukosa, kolesterol darah, dan nilai histologi. Sebelum melakukan analisis, data diuji terlebih dahulu untuk memastikan terpenuhinya asumsi *Two Way* (ANOVA), seperti normalitas residual dan homogenitas varians menggunakan uji Levene. Setelah itu, uji *Two Way* (ANOVA) dijalankan melalui menu *Analyze* $\rightarrow$ *General Linear Model* $\rightarrow$ *Univariate*, dengan memasukkan kedua faktor perlakuan sebagai fixed factors dan masing-masing parameter biologis sebagai dependent variable. Hasil *Two Way* (ANOVA) digunakan untuk mengevaluasi pengaruh utama (main effect) dari tiap variabel bebas serta interaksi antara kedua faktor tersebut. Apabila ditemukan pengaruh signifikan, analisis dilanjutkan dengan uji lanjutan (post-hoc atau estimated marginal means) untuk mengetahui kelompok mana yang berbeda secara nyata. Seluruh hasil dilaporkan

dalam bentuk nilai F, signifikansi (p-value), dan effect size (partial eta squared), yang menggambarkan seberapa besar kontribusi masing-masing variabel bebas terhadap perubahan glukosa, kolesterol, dan histologi hati pada mencit diabetes.

Setelah diperoleh hasil *Two Way* (ANOVA) yang menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara perlakuan, analisis dilanjutkan dengan uji *Post Hoc* menggunakan metode *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) untuk menentukan kelompok perlakuan yang memberikan efek paling efektif. Uji DMRT dipilih karena mampu mengelompokkan perlakuan berdasarkan perbedaan rerata secara lebih sensitif, sehingga memudahkan identifikasi perlakuan yang benar-benar berbeda nyata. Dalam proses analisis, batas signifikansi statistik ditetapkan pada tingkat $p < 0,005$ untuk meningkatkan ketelitian penilaian perbedaan antar kelompok. Melalui DMRT, perlakuan yang menghasilkan perubahan paling besar—baik penurunan kadar glukosa dan kolesterol maupun perbaikan histologi hati—akan ditandai dalam kelompok huruf yang berbeda. Dengan demikian, uji DMRT memberikan informasi yang lebih jelas mengenai perlakuan mana yang menunjukkan efektivitas tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Jenis penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang menggunakan hewan coba berupa mencit diabetes (*Mus musculus*) sebanyak 6 ekor. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Optik Fisika, Laboratorium Fisiologi Hewan, serta Laboratorium Kandang Hewan Coba, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Penelitian ini dilaksanakan melalui empat tahap. Tahap pertama yaitu mencit diaklimatisasi selama 3 hari di Laboratorium Kandang Hewan Coba. Tahap kedua yaitu mencit diinduksi diabetes menggunakan alloxan dosis 168/kg BB, setelah 3 hari dicek kadar glukosa darahnya menggunakan tes strip, apabila telah melebihi 200 mg/dL maka dianggap diabetes. Tahap ketiga yaitu mencit yang sudah diabetes dibagi menjadi 7 kelompok (kontrol, 1 V 3 menit, 1 V 5 menit, 1,5 V 3 menit, 1,5 V 5 menit, 2 V 3 menit, dan 2 V 5 menit) kemudian diberi tegangan radio-frekuensi selama 5 hari sesuai dengan pengelompokannya. Tahap keempat yaitu pengecekan kadar glukosa, dan kolesterol darah dengan tes strip, sedangkan untuk melihat histologi hati menggunakan mikroskop dan diolah gambarnya melalui aplikasi imagej.

4.1.1 Pengaruh Tegangan Radio-Frekuensi terhadap Kadar Glukosa

Data hasil kadar glukosa mencit diabetes dapat dilihat pada Tabel 4.1.

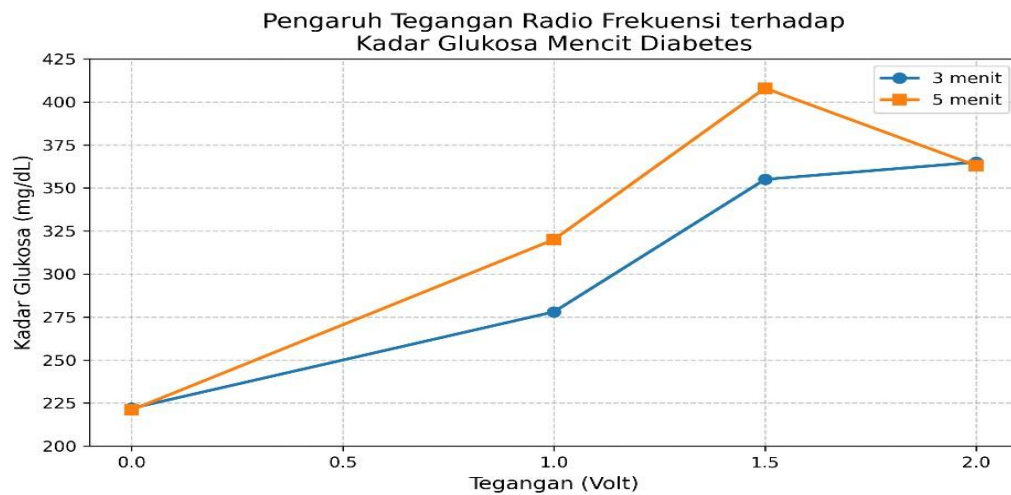
Tabel 4. 1 Data Hasil Kadar Glukosa Mencit Diabetes

Tegangan (V)	Waktu (menit)	Kadar Glukosa (mg/dL)				SD
		1	2	3	Rata-rata	
Kontrol	-	124	391	146	220,33	148,22
	-	124	391	146	220,33	148,22
1	3	521	145	166	277,33	211,21
	5	550	205	199	318	201
1,5	3	580	323	161	354,67	211,31
	5	598	443	182	407,67	210,21
2	3	561	388	139	362,67	212,12
	5	563	337	189	363	188,38

Berdasarkan hasil pengukuran kadar glukosa darah mencit diabetes pada berbagai variasi tegangan dan waktu paparan, terlihat adanya perbedaan nilai rata-rata pada masing-masing kelompok perlakuan. Kelompok kontrol, baik pada waktu 3 menit maupun 5 menit, menunjukkan nilai rata-rata yang sama yaitu sebesar $220,33 \pm 148,22$ mg/dL. Hal ini mengindikasikan bahwa tanpa perlakuan tegangan radio frekuensi, kadar glukosa darah mencit relatif lebih rendah dibandingkan kelompok perlakuan, meskipun variasi data antar individu masih cukup besar. Pada perlakuan tegangan 1 volt, terjadi peningkatan kadar glukosa darah dibandingkan kontrol. Rata-rata kadar glukosa pada waktu 3 menit sebesar $277,33 \pm 211,21$ mg/dL, kemudian meningkat pada waktu 5 menit menjadi 318 ± 201 mg/dL. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu paparan, kadar glukosa cenderung meningkat, meskipun nilai standar deviasi yang tinggi menunjukkan variasi data yang cukup besar antar sampel. Pada tegangan 1,5 volt, rata-rata kadar glukosa semakin meningkat. Pada waktu 3 menit diperoleh rata-rata sebesar $354,67$

$\pm 211,31 \text{ mg/dL}$, sedangkan pada waktu 5 menit meningkat menjadi $407,67 \pm 210,21 \text{ mg/dL}$. Peningkatan ini menunjukkan adanya pengaruh tegangan yang lebih tinggi terhadap kenaikan kadar glukosa darah mencit diabetes. Pola ini juga memperlihatkan bahwa kombinasi antara peningkatan tegangan dan lamanya waktu pemaparan berkontribusi terhadap peningkatan kadar glukosa. Selanjutnya, pada tegangan 2 volt, rata-rata kadar glukosa pada waktu 3 menit adalah $362,67 \pm 212,12 \text{ mg/dL}$ dan relatif stabil pada waktu 5 menit yaitu $363 \pm 188,38 \text{ mg/dL}$. Hal ini menunjukkan bahwa pada tegangan tertinggi, peningkatan kadar glukosa tidak lagi signifikan seiring bertambahnya waktu pemaparan, yang mengindikasikan kemungkinan telah tercapainya kondisi jenuh atau batas respon biologis mencit terhadap perlakuan. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa peningkatan tegangan radio frekuensi cenderung meningkatkan kadar glukosa darah mencit diabetes. Selain itu, waktu pemaparan juga berpengaruh, terutama pada tegangan rendah hingga sedang (1–1,5 volt), namun pada tegangan tinggi (2 volt), efek waktu menjadi kurang signifikan. Nilai standar deviasi yang relatif besar pada seluruh kelompok menunjukkan adanya variasi respon biologis antar individu mencit yang cukup tinggi.

Rata-rata yang telah didapat akan dianalisis menggunakan grafik. Analisis kadar glukosa mencit diabetes pada Tabel 4.1 ditunjukkan dalam grafik pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Grafik Pengaruh Tegangan Radio Frekuensi terhadap Kadar Glukosa pada Mencit Diabetes

Berdasarkan grafik pengaruh tegangan radio frekuensi terhadap kadar glukosa darah mencit diabetes, terlihat adanya kecenderungan peningkatan kadar glukosa seiring dengan bertambahnya tegangan yang diberikan. Pada kelompok kontrol (0 volt), kadar glukosa berada pada nilai terendah dan stabil, yaitu sekitar 220,33 mg/dL. Ketika diberikan perlakuan tegangan 1 volt, terjadi peningkatan kadar glukosa yang cukup signifikan, terutama pada waktu pemaparan 5 menit. Peningkatan ini berlanjut pada tegangan 1,5 volt yang menunjukkan nilai rata-rata tertinggi, yaitu sekitar 407,67 mg/dL pada waktu 5 menit. Namun, pada tegangan 2 volt, peningkatan kadar glukosa tidak lagi signifikan dan cenderung mengalami plateau (kondisi jenuh), di mana nilai rata-rata relatif stabil antara waktu 3 dan 5 menit.

Setelah pengambilan data, dilakukan pengolahan data menggunakan SPSS untuk mengetahui pengaruh tegangan radiofrekuensi terhadap kadar glukosa mencit diabetes. Pengolahan data menggunakan SPSS diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4. 2 Hasil Analisis *Two Way* Anova Kadar Glukosa

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: kadarglukosa					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	2491224.000 ^a	8	311403.000	8.352	<.001
tegangan	95563.667	3	31854.556	.854	.485
waktu	3313.500	1	3313.500	.089	.769
tegangan * waktu	3380.833	3	1126.944	.030	.993
Error	596542.000	16	37283.875		
Total	3087766.000	24			
a. R Squared = .807 (Adjusted R Squared = .710)					

Hasil analisis *Two Way* (ANOVA) menunjukkan bahwa faktor tegangan radio frekuensi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar glukosa darah menciit diabetes ($p > 0,05$). Faktor waktu pemaparan juga tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan ($p > 0,05$). Selain itu, interaksi antara tegangan dan waktu pemaparan tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar glukosa darah ($p > 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan yang diberikan belum mampu menghasilkan perubahan yang bermakna secara statistik terhadap kadar glukosa darah menciit diabetes.

4.1.2 Pengaruh Tegangan Radio-Frekuensi terhadap Kadar Kolesterol

Data hasil kadar kolesterol menciit diabetes dapat dilihat pada table 4.2.

Tabel 4. 3 Data hasil kadar kolesterol menciit diabetes

Tegangan (V)	Waktu (menit)	Kadar Kolesterol (mg/dL)				SD
		1	2	3	Rata-rata	
Kontrol	-	110	100	100	103,33	5,77
	-	110	100	100	103,33	5,77
1	3	132	118	101	117	152,52
	5	147	102	177	142	37,75
1,5	3	141	126	151	139,33	12,59
	5	102	126	152	126,67	25,02

2	3	100	118	161	126,33	31,35
	5	116	110	159	128,33	26,73

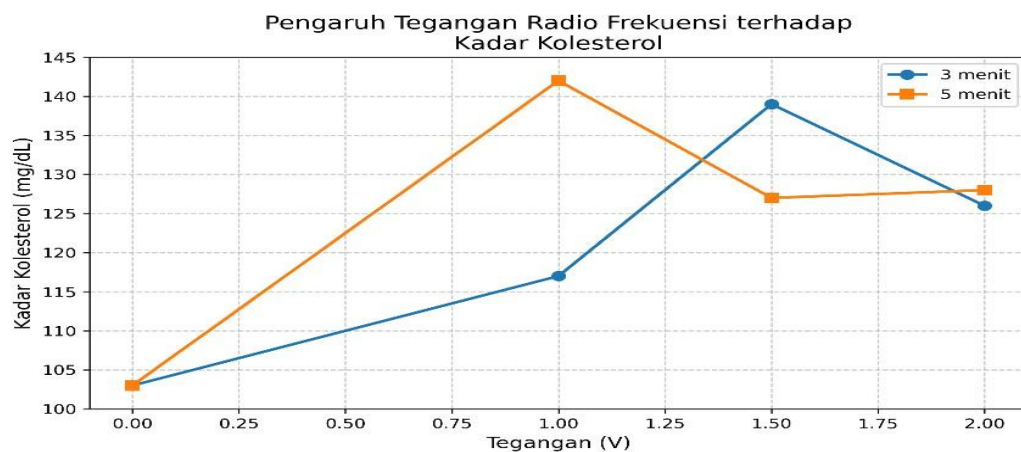
Tabel 4.2 menunjukkan data kadar kolesterol darah pada mencit diabetes

yang diberikan perlakuan tegangan radio frekuensi dengan variasi tegangan (0/kontrol, 1 V, 1,5 V, dan 2 V) serta waktu pemaparan selama 3 menit dan 5 menit. Setiap perlakuan dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan, kemudian dihitung nilai rata-rata dan standar deviasi (SD). Pada kelompok kontrol (tanpa perlakuan tegangan), kadar kolesterol relatif stabil baik pada waktu 3 menit maupun 5 menit. Nilai rata-rata yang diperoleh sama, yaitu $103,33 \pm 5,77$ mg/dL, menunjukkan variasi data yang kecil dan kondisi yang homogen. Pada perlakuan tegangan 1 V, terjadi peningkatan kadar kolesterol dibandingkan kontrol. Pada waktu 3 menit, diperoleh rata-rata sebesar $117 \pm 152,52$ mg/dL, sedangkan pada waktu 5 menit meningkat menjadi $142 \pm 37,75$ mg/dL. Hal ini menunjukkan bahwa semakin lama waktu pemaparan pada tegangan 1 V, kadar kolesterol cenderung meningkat. Nilai standar deviasi pada perlakuan ini cukup besar, terutama pada waktu 5 menit (37,75), yang menandakan variasi data yang tinggi. Pada tegangan 1,5 V, kadar kolesterol pada waktu 3 menit memiliki rata-rata sebesar $139,33 \pm 12,59$ mg/dL, kemudian menurun pada waktu 5 menit menjadi $126,67 \pm 25,02$ mg/dL. Hal ini menunjukkan adanya kecenderungan penurunan kadar kolesterol dengan bertambahnya waktu pemaparan pada tegangan ini. Standar deviasi berkisar antara 12,59 hingga 25,02, yang menunjukkan variasi data sedang. Selanjutnya pada tegangan 2 V, kadar kolesterol pada waktu 3 menit memiliki rata-rata sebesar $126,33 \pm 31,35$ mg/dL dan sedikit meningkat pada waktu 5 menit menjadi $128,33 \pm 26,73$ mg/dL. Perubahan ini relatif kecil dibandingkan perlakuan lainnya. Nilai standar deviasi pada tegangan ini cukup besar, yaitu 31,35 pada 3 menit dan 26,73 pada 5 menit, yang menunjukkan adanya variasi antar sampel.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian tegangan radio frekuensi mempengaruhi kadar kolesterol darah mencit diabetes.

Peningkatan kadar kolesterol paling tinggi terjadi pada tegangan 1 V dengan waktu 5 menit, sedangkan pada tegangan yang lebih tinggi (1,5 V dan 2 V), pola perubahan kadar kolesterol cenderung lebih fluktuatif dan tidak selalu meningkat seiring waktu pemaparan.

Rata-rata yang telah didapat akan dianalisis menggunakan grafik. Analisis kadar kolesterol mencit diabetes pada Tabel 4.2 ditunjukkan dalam grafik Gambar 4.3 dan 4.4.



Gambar 4. 2 Grafik Pengaruh Tegangan Radio-Frekuensi terhadap Kadar Kolesterol

Pada grafik 4.3 Grafik menunjukkan hubungan antara variasi tegangan radio frekuensi (0 V/kontrol, 1 V, 1,5 V, dan 2 V) terhadap kadar kolesterol darah mencit diabetes pada dua waktu pemaparan, yaitu 3 menit dan 5 menit. Pada kondisi kontrol (0 V), kadar kolesterol pada waktu 3 menit dan 5 menit berada pada nilai yang sama, yaitu sekitar 103,33 mg/dL. Hal ini menunjukkan bahwa tanpa perlakuan tegangan, tidak terjadi perubahan kadar kolesterol, sehingga kondisi awal cenderung stabil. Pada tegangan 1 V, terjadi peningkatan kadar kolesterol yang cukup signifikan. Pada waktu 3 menit, kadar kolesterol meningkat menjadi sekitar 117 mg/dL, dan meningkat lebih tinggi lagi pada waktu 5 menit hingga mencapai sekitar 142 mg/dL.

Hal ini menunjukkan bahwa pada tegangan rendah, peningkatan lama pemaparan berkontribusi terhadap kenaikan kadar kolesterol. Pada tegangan 1,5 V, kadar kolesterol pada waktu 3 menit mencapai sekitar 139,33 mg/dL, namun mengalami penurunan pada waktu 5 menit menjadi sekitar 126,67 mg/dL. Pola ini menunjukkan bahwa efek tegangan tidak selalu linier terhadap waktu, dan kemungkinan terjadi respons adaptasi atau efek biologis tertentu pada mencit. Selanjutnya pada tegangan 2 V, kadar kolesterol pada waktu 3 menit sebesar sekitar 126,33 mg/dL dan sedikit meningkat pada waktu 5 menit menjadi sekitar 128,33 mg/dL. Perubahan yang terjadi relatif kecil dibandingkan dengan tegangan 1 V, menunjukkan bahwa peningkatan tegangan tidak selalu diikuti oleh peningkatan kadar kolesterol yang signifikan. Secara keseluruhan, grafik menunjukkan bahwa pengaruh tegangan radio frekuensi terhadap kadar kolesterol bersifat fluktuatif. Tegangan 1 V dengan waktu pemaparan 5 menit menghasilkan kadar kolesterol tertinggi, sedangkan pada tegangan yang lebih tinggi (1,5 V dan 2 V), respons kadar kolesterol cenderung tidak stabil dan tidak menunjukkan pola peningkatan yang konsisten.

Setelah pengambilan data, dilakukan pengolahan data menggunakan SPSS untuk mengetahui pengaruh radiofrekuensi terhadap kadar kolesterol mencit diabetes. Pengolahan data menggunakan SPSS diperoleh hasil sebagai berikut:

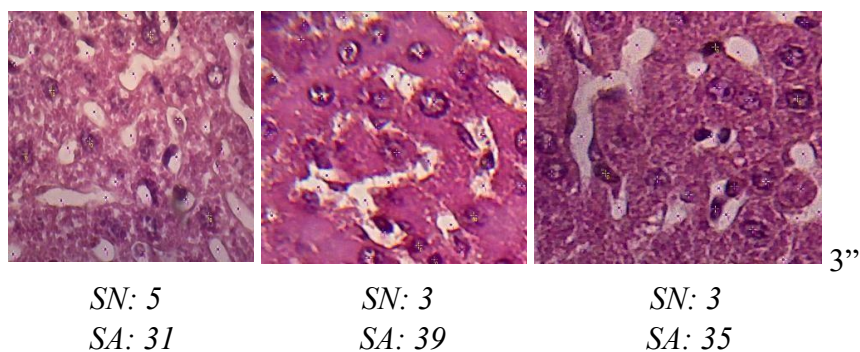
Tabel 4. 4 Hasil Analisis *Two Way* Anova Kadar Kolesterol

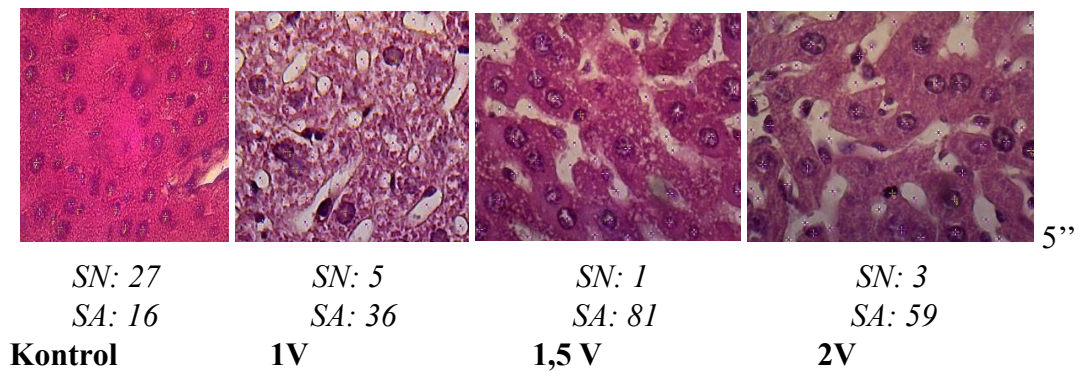
Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: kadarkolesterol					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	369289.000 ^a	8	46161.125	87.655	<.001
tegangan	3284.792	3	1094.931	2.079	.143
waktu	77.042	1	77.042	.146	.707
tegangan * waktu	1107.125	3	369.042	.701	.565
Error	8426.000	16	526.625		
Total	377715.000	24			

a. R Squared = .978 (Adjusted R Squared = .967)

Berdasarkan hasil analisis menggunakan uji *Two Way* (ANOVA) terhadap kadar kolesterol darah pada mencit diabetes, diperoleh bahwa faktor tegangan radiofrekuensi tidak berpengaruh signifikan terhadap kadar kolesterol darah. Hal ini ditunjukkan oleh nilai F sebesar 2,079 dengan nilai signifikansi 0,143 ($p > 0,05$). Demikian pula, faktor waktu tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar kolesterol darah, dengan nilai F sebesar 0,146 dan nilai signifikansi 0,707 ($p > 0,05$). Hasil analisis juga menunjukkan bahwa interaksi antara tegangan radiofrekuensi dan waktu tidak berpengaruh signifikan terhadap kadar kolesterol darah, yang ditunjukkan oleh nilai F sebesar 0,701 dengan nilai signifikansi 0,565 ($p > 0,05$). Dengan demikian, perubahan kadar kolesterol darah pada mencit diabetes tidak dipengaruhi secara nyata oleh variasi tegangan radiofrekuensi, waktu pengamatan, maupun interaksi antara kedua faktor tersebut. Meskipun demikian, model analisis secara keseluruhan menunjukkan hasil yang signifikan ($F = 87,655$; $p < 0,001$) dengan nilai R Square sebesar 0,978 dan Adjusted R Square sebesar 0,967, yang mengindikasikan bahwa model mampu menjelaskan sekitar 97,8% variasi kadar kolesterol darah. Namun, berdasarkan hasil pengujian efek utama dan interaksi, dapat disimpulkan bahwa pemberian variasi tegangan radiofrekuensi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar kolesterol darah pada mencit diabetes.

4.1.3 Pengaruh Tegangan Radio-Frekuensi terhadap Histologi Hati





Gambar 4. 3 Histologi Hati Mencit Diabetes dengan Tegangan dan Variasi Waktu yang Berbeda - beda

Pada kelompok kontrol, ditemukan 27 sel normal dan 16 sel abnormal, yang menunjukkan bahwa meskipun mencit berada dalam kondisi diabetes, struktur jaringan hati masih didominasi oleh sel yang relatif normal.

Pada kelompok perlakuan tegangan 1 Volt selama 3 menit, jumlah sel normal menurun menjadi 5 sel, sedangkan jumlah sel abnormal meningkat menjadi 31 sel. Ketika lama paparan ditingkatkan menjadi 5 menit pada tegangan yang sama, jumlah sel abnormal kembali meningkat menjadi 36 sel dengan jumlah sel normal tetap 5 sel. Kondisi ini menunjukkan bahwa perpanjangan waktu paparan cenderung memperparah kerusakan jaringan hati.

Pada tegangan 1,5 Volt selama 3 menit, jumlah sel normal berkurang menjadi 3 sel dan jumlah sel abnormal meningkat menjadi 39 sel. Kerusakan yang paling menonjol terlihat pada paparan 1,5 Volt selama 5 menit, dengan hanya ditemukan 1 sel normal dan 58 sel abnormal. Hasil ini mengindikasikan bahwa kombinasi tegangan dan waktu paparan yang lebih tinggi dapat meningkatkan tingkat degenerasi atau kerusakan sel hepatosit secara signifikan.

Sementara itu, pada tegangan 2 Volt selama 3 menit ditemukan 3 sel normal dan 35 sel abnormal. Ketika waktu paparan diperpanjang menjadi 5 menit, jumlah sel abnormal meningkat menjadi 59 sel dengan jumlah sel normal tetap 3 sel. Jumlah sel abnormal pada perlakuan ini merupakan yang tertinggi dibandingkan kelompok

lainnya, menunjukkan bahwa paparan radio frekuensi dengan tegangan tinggi dan durasi lebih lama berpotensi menyebabkan perubahan histopatologi hati yang lebih berat.

Secara keseluruhan, hasil pengamatan histologi hati menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan jumlah sel abnormal dan penurunan jumlah sel normal akibat peningkatan tegangan serta lama waktu paparan radio frekuensi. Temuan ini mengindikasikan bahwa paparan radio frekuensi pada mencit diabetes dapat menyebabkan kerusakan struktur hepatosit yang ditandai dengan perubahan morfologi sel, sehingga kualitas jaringan hati semakin menurun dibandingkan kelompok kontrol.

Tabel 4. 5 Skoring Histologi Hati Mencit Diabetes

Tegangan (V)	Waktu (menit)	Skoring Histologi Hati Mencit Diabetes				Skor
		Sel Normal	Sel Abnormal	Total Sel	% Abnormal	
Kontrol	-	27	16	43	37,21%	2
	-	27	16	43	37,21%	2
1	3	5	31	36	86,11%	4
	5	5	36	41	87,80%	4
1,5	3	3	39	42	92,86%	4
	5	1	58	59	98,31%	4
2	3	3	35	38	92,11%	4
	5	3	59	62	95,16%	4

Berdasarkan hasil skoring histologi hati, kelompok kontrol menunjukkan tingkat kerusakan sedang dengan skor 2 dan persentase sel abnormal sebesar 37,21%. Pada seluruh kelompok perlakuan radio frekuensi diperoleh skor 4 (kerusakan sangat berat), dengan persentase sel abnormal berkisar antara 86,11% hingga 98,31%.

Kelompok perlakuan 1 Volt selama 3 menit menghasilkan persentase sel abnormal sebesar 86,11%, yang meningkat menjadi 87,80% pada lama paparan 5 menit. Pada perlakuan 1,5 Volt selama 3 menit, persentase sel abnormal mencapai 92,86%, kemudian meningkat menjadi 98,31% pada paparan 5 menit. Sementara itu, perlakuan 2 Volt selama 3 menit menghasilkan 92,11% sel abnormal dan meningkat menjadi 95,16% setelah paparan 5 menit.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa seluruh kelompok perlakuan mengalami kerusakan histologis hati yang sangat berat dibandingkan kelompok kontrol. Selain itu, terdapat kecenderungan peningkatan persentase sel abnormal seiring bertambahnya tegangan dan lama waktu paparan radio frekuensi. Kerusakan paling tinggi ditemukan pada kelompok perlakuan 1,5 Volt selama 5 menit dengan persentase sel abnormal sebesar 98,31%.

Tabel 4. 6 Two Way Anova Histologi Hati Mencit Diabetes

Source	Type III Sum Of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3354.715	4	838.679	15.631	0.024
Tegangan	2404.144	2	1202.072	22.404	0.016
Waktu	200.784	1	200.784	3.742	0.148
Tegangan x Waktu	43.123	1	43.123	0.804	0.436
Error	160.965	3	53.655		
Total	56984.770	8			
Corrected Total	3515.680	7			

Berdasarkan hasil uji statistik *Two-Way* (ANOVA) untuk melihat pengaruh variasi tegangan, durasi waktu, serta interaksi di antara keduanya terhadap persentase sel hati mencit yang abnormal, model pengujian secara keseluruhan dinyatakan valid dan signifikan yang ditunjukkan oleh nilai Corrected Model sebesar 0,024 ($p < 0,05$). Faktor utama yang ditemukan memberikan dampak paling nyata adalah besaran tegangan yang diberikan kepada subjek penelitian. Hal ini dibuktikan melalui tabel Tests of Between-Subjects Effects di mana variabel tegangan menunjukkan nilai Sum of Squares sebesar 2404,144 dengan derajat bebas (df) = 2, F-hitung sebesar 22,404, serta nilai signifikansi (p -value) sebesar 0,016. Karena nilai signifikansi tersebut lebih kecil dari taraf nyata $\alpha = 0,05$, maka dapat disimpulkan bahwa variasi tegangan memberikan pengaruh yang signifikan secara statistik terhadap tingkat keabnormalan sel hati mencit.

Sebaliknya, durasi paparan tidak menunjukkan kontribusi yang serupa dalam uji statistik ini. Untuk variabel durasi waktu perlakuan, diperoleh nilai Sum of Squares sebesar 200,784 dengan derajat bebas (df) = 1, F-hitung sebesar 3,742, dan nilai signifikansi sebesar 0,148. Mengingat nilai signifikansi ini lebih besar dari $\alpha = 0,05$, maka secara statistik durasi waktu perlakuan (antara 3 menit dan 5 menit) tidak memberikan perbedaan pengaruh yang signifikan terhadap persentase keabnormalan sel hati mencit. Hal ini mengindikasikan bahwa perpanjangan durasi dari 3 ke 5 menit pada rentang tegangan yang sama tidak secara radikal memperparah kerusakan sel makroskopis yang teramati.

Lebih lanjut, pengujian terhadap efek interaksi kelompok (Tegangan * Waktu) menghasilkan nilai Sum of Squares sebesar 43,123 dengan derajat bebas (df) = 1, F-hitung sebesar 0,804, dan nilai signifikansi yang cukup besar yaitu 0,436 ($p > 0,05$). Hasil ini mengonfirmasi tidak adanya interaksi yang signifikan antara variabel tegangan dan durasi waktu perlakuan. Dengan kata lain, efek peningkatan

tegangan terhadap kerusakan sel bersifat mandiri dan tidak bergantung pada lamanya waktu paparan yang diberikan. Jika merujuk pada tren data mentah pada gambar "image.png", lonjakan persentase sel abnormal sudah terjadi secara masif sejak tegangan 1 V diberikan (melompat ke kisaran 86%–87% dari yang awalnya hanya 37,21% pada kelompok kontrol), dan terus bertahan di angka yang sangat tinggi (hingga mencapai puncaknya di angka 98,31% pada tegangan 1,5 V durasi 5 menit) tanpa dipengaruhi secara signifikan oleh perubahan waktu paparan.

Tabel 4. 7 Uji DMRT Histologi Hati Mencit Diabetes

Tegangan	N	Subset for $\alpha=0.05$		Notasi
		1	2	
Kontrol	2	37.2100		a
1 V	2		86.9550	b
2 V	2		93.6350	b
1,5 V	2		95.5850	b
sig	1000		0.287	

Berdasarkan hasil uji lanjut *Duncan's Multiple Range Test* (DMRT) pada taraf nyata $\alpha=0,05$, diperoleh gambaran yang jelas mengenai pengelompokan efek dari masing-masing tingkatan tegangan terhadap persentase keabnormalan sel hati mencit. Hasil uji signifikansi DMRT ini membagi kelompok perlakuan ke dalam dua subset homogen yang berbeda secara nyata. Subset pertama ditempati secara tunggal oleh kelompok Kontrol dengan rerata persentase sel abnormal paling rendah, yaitu sebesar 37,21%. Posisi yang terpisah ini menunjukkan bahwa kelompok tanpa paparan tegangan memiliki kondisi histologi hati yang secara signifikan jauh lebih baik dan berbeda nyata dibandingkan dengan seluruh kelompok mencit yang mendapatkan perlakuan tegangan radiofrekuensi.

Sementara itu, subset kedua diisi oleh kelompok perlakuan tegangan 1 V, 2 V, dan 1,5 V dengan rerata persentase sel abnormal berturut-turut sebesar 86,95%, 93,63%, dan 95,58%. Mengingat ketiga kelompok tegangan tersebut berada dalam satu subset yang sama dengan nilai signifikansi internal (Sig.) sebesar 0,287 ($p > 0,05$), maka secara statistik peningkatan tegangan dari 1 V hingga 2 V tidak memberikan perbedaan dampak kerusakan sel yang signifikan di antara ketiganya. Namun, lonjakan persentase yang berkumpul di subset kedua ini menegaskan bahwa pemberian tegangan pada level paling minimal sekalipun (1 V) sudah cukup untuk memicu akumulasi kerusakan sel hati secara masif dan signifikan dibandingkan dengan kondisi normal pada kelompok Kontrol.

4.2 Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian, pemberian tegangan radio-frekuensi pada mencit diabetes menunjukkan tidak adanya pengaruh terhadap kadar glukosa, kadar kolesterol darah, dan memengaruhi kerusakan pada histologi hati. Kadar glukosa darah cenderung meningkat seiring bertambahnya tegangan dan waktu paparan, dengan nilai tertinggi diperoleh pada perlakuan 1,5 V selama 5 menit sebesar 407,67 mg/dL. Namun, hasil analisis *Two Way* (ANOVA) menunjukkan bahwa pengaruh tegangan, waktu, maupun interaksi keduanya tidak signifikan secara statistik ($p > 0,05$). Pada kadar kolesterol darah, perubahan yang terjadi bersifat fluktuatif, di mana kadar tertinggi diperoleh pada perlakuan 1 V selama 5 menit sebesar 142 mg/dL, tetapi secara statistik juga tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan. Sementara itu, hasil pengamatan histologi hati menunjukkan adanya peningkatan kerusakan jaringan hati seiring meningkatnya tegangan radiofrekuensi, yang ditandai dengan menurunnya jumlah sel normal dan meningkatnya jumlah sel abnormal pada kelompok perlakuan dibandingkan kontrol. Secara keseluruhan, paparan radio-frekuensi memberikan perubahan biologis pada mencit diabetes,

terutama terhadap struktur histologi hati, meskipun terhadap kadar glukosa dan kolesterol darah tidak ada pengaruh secara statistik.

4.2.1 Pengaruh Tegangan Radio-Frekuensi terhadap Kadar Glukosa

Hasil penelitian ini sejalan dengan beberapa penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa paparan radiofrekuensi tidak selalu menyebabkan perubahan kadar glukosa darah. Black dan Heynick (2003) melaporkan bahwa sebagian besar efek biologis radiofrekuensi yang telah teridentifikasi berkaitan dengan peningkatan suhu jaringan (thermal effect), sedangkan pada tingkat paparan yang tidak menimbulkan pemanasan bermakna tidak ditemukan perubahan fisiologis maupun endokrin yang konsisten. Sejalan dengan itu, penelitian pada tikus yang dipaparkan gelombang microwave berdaya rendah juga menunjukkan bahwa kadar glukosa darah dan insulin tetap tidak berbeda secara signifikan dibandingkan kelompok kontrol, meskipun ditemukan perubahan metabolisme glukosa pada jaringan otak. Dengan demikian, tidak ditemukannya pengaruh signifikan tegangan radiofrekuensi terhadap kadar glukosa darah pada penelitian ini menunjukkan bahwa paparan yang diberikan kemungkinan belum mencapai ambang intensitas atau durasi yang mampu mengganggu regulasi glukosa secara sistemik.

Selain itu, penelitian oleh Tuba Yilmaz dkk. (2014) menjelaskan bahwa gelombang radio-frekuensi dan microwave memiliki interaksi langsung dengan jaringan biologis melalui perubahan sifat dielektrik dan peningkatan energi termal jaringan. Interaksi tersebut dapat memengaruhi aktivitas metabolik sel dan respons fisiologis tubuh, termasuk sistem pengaturan glukosa darah.

Hasil penelitian ini juga didukung oleh penelitian Lailatus Sa'diyah dan Dyah Hariani (2020) yang menunjukkan bahwa mencit diabetes yang diinduksi aloksan mengalami peningkatan kadar glukosa darah akibat kerusakan sel β pankreas dan stres oksidatif pada jaringan hati. Penelitian tersebut menjelaskan

bahwa kondisi diabetes menyebabkan gangguan regulasi glukosa sehingga perubahan metabolisme akibat perlakuan tertentu dapat memperburuk kondisi hiperglikemia. Namun, hasil penelitian ini berbeda dengan penelitian Salsabiela (2023) dan Zidny (2024) yang menunjukkan bahwa paparan radio-frekuensi mampu menurunkan kadar kolesterol dan asam urat pada mencit diabetes. Perbedaan hasil ini diduga disebabkan oleh perbedaan parameter biologis yang diamati, kondisi fisiologis hewan coba, durasi pemaparan, serta respons metabolik tubuh terhadap paparan radio-frekuensi. Pada penelitian ini, paparan RF justru cenderung meningkatkan kadar glukosa darah akibat aktivasi hormon stres dan peningkatan proses glikogenolisis pada kondisi diabetes.

Peningkatan kadar glukosa darah akibat paparan radio-frekuensi diduga berkaitan dengan efek termal yang dihasilkan oleh gelombang radio-frekuensi terhadap jaringan biologis. Gelombang RF menghasilkan panas melalui mekanisme efek Joule, yaitu perubahan energi listrik menjadi energi panas akibat gesekan ion dan molekul dalam jaringan tubuh (Pennes, 1948; Goldberg, 2021). Panas yang dihasilkan dapat memicu peningkatan aktivitas metabolisme tubuh dan respons stres fisiologis pada mencit diabetes. Kondisi tersebut dapat merangsang pelepasan hormon stres seperti epinefrin dan norepinefrin yang berperan dalam meningkatkan proses glikogenolisis dan glukoneogenesis di hati sehingga kadar glukosa darah meningkat (Guyton & Hall, 2016).

Mekanisme tersebut sejalan dengan teori pada persamaan bioheat Pennes yang menjelaskan bahwa energi listrik yang diserap jaringan akan meningkatkan suhu lokal jaringan (Pennes, 1948). Peningkatan suhu ini dapat memengaruhi aktivitas metabolik sel dan kerja organ, termasuk hati sebagai organ utama pengatur homeostasis glukosa darah. Hati memiliki fungsi penting dalam penyimpanan glukosa dalam bentuk glikogen dan pelepasan glukosa ke sirkulasi darah. Pada

kondisi diabetes, fungsi hati sudah mengalami gangguan akibat stres oksidatif dan resistensi insulin, sehingga paparan panas tambahan dari radio-frekuensi dapat memperburuk regulasi glukosa darah (Abolfathi et al., 2012).

Selain itu, peningkatan kadar glukosa darah pada penelitian ini juga dapat dipengaruhi oleh kondisi hiperglikemia akibat induksi aloksan. Aloksan diketahui mampu merusak sel β pankreas melalui pembentukan radikal bebas sehingga produksi insulin menurun (Lenzen, 2008). Kerusakan sel β pankreas menyebabkan glukosa sulit masuk ke dalam sel dan tetap berada di dalam sirkulasi darah. Ketika mencit yang telah mengalami diabetes diberikan paparan radio-frekuensi, tubuh diduga mengalami peningkatan metabolisme dan stres fisiologis yang menyebabkan kebutuhan energi meningkat. Dalam kondisi kekurangan insulin, peningkatan kebutuhan energi tersebut dapat memicu pelepasan glukosa lebih banyak ke dalam darah sehingga kadar glukosa meningkat. Mekanisme ini berkaitan dengan stres oksidatif dan gangguan fungsi sel β pankreas akibat induksi aloksan yang menyebabkan penurunan sekresi insulin serta gangguan metabolisme glukosa (Johansen dkk., 2005; Takemoto dkk., 2015).

Pada perlakuan tegangan 1,5 volt selama 5 menit diperoleh rata-rata kadar glukosa tertinggi sebesar 407,67 mg/dL. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi tegangan dan waktu paparan tertentu memberikan pengaruh biologis yang lebih besar dibandingkan perlakuan lainnya. Namun, pada tegangan 2 volt, kadar glukosa cenderung stabil antara waktu paparan 3 menit dan 5 menit. Kondisi ini diduga menunjukkan adanya batas respons biologis atau kondisi jenuh terhadap paparan radio-frekuensi. Tubuh mencit kemungkinan telah mencapai ambang toleransi terhadap peningkatan suhu sehingga efek peningkatan glukosa tidak lagi meningkat secara signifikan (Brodmerkel & Taylor, 2016).

Hasil analisis statistik menggunakan uji *Two Way* (ANOVA) menunjukkan bahwa faktor tegangan, waktu paparan, maupun interaksi keduanya tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar glukosa darah mencit diabetes ($p > 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa meskipun secara deskriptif terjadi peningkatan kadar glukosa pada kelompok perlakuan, namun perubahan tersebut belum cukup kuat secara statistik. Ketidaksignifikanan hasil ini diduga dipengaruhi oleh jumlah sampel yang relatif sedikit dan tingginya variasi biologis antar mencit, yang terlihat dari nilai standar deviasi yang cukup besar pada setiap kelompok perlakuan.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa paparan radiofrekuensi pada mencit diabetes cenderung meningkatkan kadar glukosa darah, terutama pada tegangan menengah hingga tinggi dan waktu paparan lebih lama. Efek tersebut diduga disebabkan oleh peningkatan suhu jaringan, aktivasi hormon stres, peningkatan metabolisme, serta Gangguan regulasi glukosa akibat kerusakan sel β pankreas pada kondisi diabetes menyebabkan tubuh tidak mampu mengontrol kadar glukosa darah secara normal. Oleh karena itu, penggunaan radio-frekuensi pada penderita diabetes perlu diperhatikan karena dapat memengaruhi metabolisme glukosa tubuh melalui peningkatan stres oksidatif, perubahan aktivitas metabolik, dan respons fisiologis jaringan terhadap paparan gelombang elektromagnetik (American Diabetes Association, 2023; Yakymenko dkk., 2016).

4.2.2 Pengaruh Tegangan Radio-Frekuensi terhadap Kadar Kolesterol Darah

Berdasarkan hasil penelitian, pemberian tegangan radio-frekuensi (RF) pada mencit diabetes menunjukkan adanya perubahan kadar kolesterol darah pada setiap perlakuan. Secara umum, paparan RF cenderung meningkatkan kadar kolesterol dibandingkan kelompok kontrol, meskipun pola perubahan yang terjadi bersifat fluktuatif pada setiap variasi tegangan dan lama paparan.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Tuba Yılmaz dkk. (2014) yang menyatakan bahwa paparan gelombang radio-frekuensi dapat memengaruhi aktivitas metabolik jaringan melalui efek termal dan perubahan fisiologis sel. Peningkatan metabolisme akibat paparan panas RF diduga mampu meningkatkan mobilisasi lemak ke dalam sirkulasi darah sehingga kadar kolesterol sementara mengalami peningkatan sebelum dimetabolisme lebih lanjut. Selain itu, penelitian Michael Després dan Isabelle Lemieux (2006) menjelaskan bahwa peningkatan aktivitas metabolisme dan lipolisis dapat meningkatkan pelepasan lipid serta kolesterol ke dalam darah, terutama pada kondisi gangguan metabolik seperti diabetes. Temuan lain oleh Dmytro Yakymenko dkk. (2016) juga menunjukkan bahwa paparan gelombang elektromagnetik dapat memicu stres oksidatif dan perubahan metabolisme lipid yang berpengaruh terhadap profil kolesterol darah. Berdasarkan hasil penelitian, pemberian tegangan radio-frekuensi (RF) pada mencit diabetes menyebabkan perubahan kadar kolesterol darah pada setiap kelompok perlakuan. Secara umum, kadar kolesterol pada kelompok yang diberi paparan RF cenderung lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol, meskipun pola perubahan yang terjadi bersifat fluktuatif. Kadar kolesterol tertinggi diperoleh pada perlakuan tegangan 1 volt selama 5 menit, sedangkan pada beberapa perlakuan lain terjadi penurunan kadar kolesterol. Namun, berdasarkan hasil uji *Two Way* (ANOVA), faktor tegangan, lama pemaparan, maupun interaksi keduanya tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap kadar kolesterol darah mencit diabetes ($p > 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa perubahan kadar kolesterol yang terjadi masih dipengaruhi oleh variasi biologis antar hewan coba dan jumlah sampel yang relatif sedikit.

Perubahan kadar kolesterol akibat paparan radio-frekuensi diduga berkaitan dengan efek termal yang dihasilkan gelombang RF pada jaringan tubuh. Paparan RF

menghasilkan panas melalui mekanisme efek Joule, yaitu perubahan energi listrik menjadi energi panas akibat gesekan ion dan molekul di dalam jaringan biologis (Pennes, 1948). Peningkatan suhu tubuh dapat memengaruhi metabolisme lemak dan fungsi hati sebagai organ utama metabolisme lipid. Selain itu, peningkatan suhu diduga merangsang pelepasan hormon epinefrin dan norepinefrin yang dapat meningkatkan proses lipolisis sehingga kadar lipid darah mengalami perubahan (Guyton & Hall, 2016). Pada kondisi tertentu, peningkatan metabolisme akibat paparan panas RF dapat meningkatkan mobilisasi lemak ke dalam sirkulasi darah sehingga kadar kolesterol sementara meningkat sebelum dimetabolisme lebih lanjut. Efek termal RF juga diketahui dapat meningkatkan aktivitas metabolik jaringan, aliran darah, dan pelepasan asam lemak sebagai sumber energi tubuh, terutama pada kondisi metabolisme terganggu seperti diabetes (Després & Lemieux, 2006; Yılmaz dkk., 2014; Yakymenko dkk., 2016).

Hasil penelitian ini didukung oleh penelitian Salsabiela (2023) yang menunjukkan bahwa paparan radio-frekuensi pada mencit diabetes mampu memengaruhi kadar kolesterol darah. Penelitian tersebut melaporkan bahwa perlakuan RF dengan tegangan 2 volt selama 5 menit dapat menurunkan kadar kolesterol hingga 103 mg/dL dibandingkan kelompok kontrol. Penurunan kadar kolesterol diduga terjadi akibat peningkatan metabolisme tubuh dan aktivasi enzim lipase yang mempercepat pemecahan trigliserida menjadi asam lemak bebas.

Penelitian lain oleh Hengkengbala dkk. (2013) juga menjelaskan bahwa peningkatan suhu tubuh akibat paparan panas dapat memengaruhi metabolisme lipid melalui peningkatan oksidasi lemak dan aktivitas hormonal. Selain itu, Brodmerkel dan Taylor (2016) menyatakan bahwa terapi panas dapat memengaruhi profil lipid darah melalui peningkatan sirkulasi darah dan aktivitas metabolik tubuh.

Meskipun demikian, hasil penelitian ini menunjukkan pola yang berbeda pada beberapa kelompok perlakuan karena terdapat peningkatan kadar kolesterol, terutama pada tegangan 1 volt selama 5 menit. Perbedaan tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh kondisi fisiologis hewan coba, variasi respons biologis individu, serta gangguan metabolisme lipid akibat diabetes yang diinduksi aloksan. Kerusakan sel dan stres oksidatif pada kondisi diabetes dapat menyebabkan regulasi metabolisme lipid menjadi tidak stabil sehingga respons tubuh terhadap paparan radio-frekuensi menjadi berbeda pada setiap individu (Szkudelski, 2001). Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa paparan radio-frekuensi dapat memengaruhi kadar kolesterol darah mencit diabetes melalui mekanisme termal dan perubahan metabolisme lipid, meskipun pengaruhnya belum signifikan secara statistik.

4.2.3 Pengaruh Tegangan Radio-Frekuensi terhadap Histologi Hati

Berdasarkan hasil pengamatan histologi hati mencit diabetes pada berbagai perlakuan tegangan radio-frekuensi (RF), terlihat adanya perubahan struktur jaringan hati yang berbeda pada setiap kelompok perlakuan. Perubahan tersebut ditandai dengan penurunan jumlah sel normal dan peningkatan jumlah sel abnormal seiring meningkatnya tegangan radio-frekuensi yang diberikan. Pada kelompok kontrol tanpa perlakuan tegangan, jumlah sel normal lebih dominan yaitu sebanyak 49 sel, sedangkan jumlah sel abnormal sebanyak 30 sel. Struktur histologi hati pada kelompok ini masih tampak relatif normal dengan susunan hepatosit yang teratur, inti sel terlihat jelas, serta sinusoid hati masih tersusun rapi. Meskipun demikian, beberapa sel abnormal tetap ditemukan akibat kondisi diabetes yang dialami mencit.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian oleh Szkudelski (2001) yang menjelaskan bahwa induksi aloksan pada hewan coba diabetes dapat menyebabkan pembentukan radikal bebas yang tidak hanya merusak sel β pankreas, tetapi juga

memicu stres oksidatif pada organ lain seperti hati. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya degenerasi hepatosit, perubahan inti sel, serta kerusakan struktur sinusoid hati akibat gangguan metabolisme glukosa dan lipid.

Selain itu, penelitian oleh Abolfathi et al. (2012) menunjukkan bahwa mencit diabetes mengalami perubahan histopatologi hati berupa degenerasi sel hepatosit, nekrosis, dan pelebaran sinusoid akibat peningkatan stres oksidatif dan akumulasi radikal bebas. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa kondisi hiperglikemia kronis pada diabetes menyebabkan kerusakan membran sel hati sehingga jumlah sel abnormal meningkat dibandingkan sel normal. Hasil tersebut mendukung temuan pada penelitian ini, di mana kelompok kontrol diabetes tetap menunjukkan adanya kerusakan jaringan hati meskipun belum diberikan perlakuan radio-frekuensi.

Hasil penelitian ini juga memiliki kesamaan dengan penelitian oleh Özorak et al. (2013) yang melaporkan bahwa paparan gelombang elektromagnetik radiofrekuensi dapat menyebabkan perubahan histologi hati berupa vakuolisasi sitoplasma, degenerasi hepatosit, dan kerusakan inti sel akibat peningkatan suhu jaringan dan stres oksidatif. Semakin tinggi intensitas paparan RF yang diberikan, maka kerusakan jaringan hati cenderung meningkat. Kondisi tersebut sesuai dengan hasil penelitian ini yang menunjukkan adanya peningkatan jumlah sel abnormal seiring meningkatnya tegangan radio-frekuensi.

Namun demikian, beberapa penelitian lain menunjukkan hasil yang berbeda. Penelitian oleh Koyu et al. (2005) menyatakan bahwa paparan radiofrekuensi dengan intensitas rendah dan durasi singkat belum memberikan perubahan histologi hati yang signifikan. Perbedaan hasil tersebut kemungkinan dipengaruhi oleh perbedaan besar tegangan, lama pemaparan, kondisi fisiologis hewan coba, serta adanya kondisi diabetes pada penelitian ini yang menyebabkan jaringan hati lebih rentan mengalami kerusakan akibat paparan radio-frekuensi.

Pada kelompok perlakuan tegangan 1 volt, terjadi peningkatan jumlah sel abnormal yang cukup signifikan menjadi 96 sel, sedangkan jumlah sel normal menurun menjadi 34 sel. Secara mikroskopis mulai terlihat adanya perubahan morfologi hepatosit berupa pembengkakan sel, vakuolisasi sitoplasma, dan susunan sel yang mulai tidak teratur. Kondisi ini menunjukkan bahwa paparan radiofrekuensi mulai memberikan efek terhadap kerusakan jaringan hati. Peningkatan suhu akibat efek termal radio-frekuensi diduga menyebabkan gangguan metabolisme sel hati sehingga memicu degenerasi hepatosit (Pennes, 1948; Goldberg, 2021).

Kerusakan jaringan hati semakin meningkat pada perlakuan tegangan 1,5 volt. Pada kelompok ini jumlah sel normal menurun drastis menjadi 8 sel, sedangkan jumlah sel abnormal meningkat hingga 135 sel. Gambaran histologi menunjukkan adanya degenerasi lemak, piknosis inti, vakuolisasi yang lebih luas, serta disorganisasi susunan hepatosit. Beberapa area juga menunjukkan tanda-tanda nekrosis sel hati. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan tegangan radio-frekuensi memberikan efek yang lebih besar terhadap kerusakan histologi hati mencit diabetes. Hasil ini sejalan dengan penelitian Özorak et al. (2013) yang melaporkan bahwa paparan gelombang elektromagnetik dapat menyebabkan degenerasi hepatosit, vakuolisasi sitoplasma, dan kerusakan inti sel akibat peningkatan stres oksidatif pada jaringan hati.

Pada perlakuan tegangan 2 volt, jumlah sel normal semakin sedikit yaitu hanya 5 sel, sedangkan jumlah sel abnormal mencapai 112 sel. Secara histologis terlihat adanya kerusakan jaringan yang cukup berat, seperti nekrosis hepatosit, pelebaran sinusoid, serta gangguan arsitektur lobulus hati. Walaupun jumlah sel abnormal sedikit lebih rendah dibandingkan kelompok 1,5 volt, tingkat kerusakan jaringan secara umum masih tergolong tinggi. Kondisi ini menunjukkan bahwa paparan radio-frekuensi dengan tegangan tinggi memberikan dampak negatif terhadap

integritas dan fungsi jaringan hati. Penelitian Koyu et al. (2005) juga menjelaskan bahwa paparan medan elektromagnetik dapat meningkatkan stres oksidatif pada organ hati sehingga memicu kerusakan jaringan dan gangguan fungsi hepatosit.

Kerusakan histologi hati pada penelitian ini diduga berkaitan dengan efek termal radio-frekuensi yang menyebabkan peningkatan suhu jaringan biologis. Panas yang dihasilkan oleh gelombang radio-frekuensi melalui efek Joule dapat meningkatkan stres oksidatif dan pembentukan radikal bebas dalam sel hati (Pennes, 1948). Pada kondisi diabetes, hati telah mengalami gangguan metabolisme akibat hiperglikemia kronis sehingga lebih rentan terhadap kerusakan tambahan.

Peningkatan radikal bebas dapat merusak membran sel hepatosit, protein, dan DNA sel sehingga menyebabkan degenerasi maupun nekrosis jaringan hati (Abolfathi et al., 2012).

Selain efek termal, kerusakan hati juga dapat dipengaruhi oleh kondisi diabetes akibat induksi aloksan. Aloksan diketahui mampu meningkatkan pembentukan *Reactive Oxygen Species* (ROS) yang menyebabkan stres oksidatif pada berbagai organ, termasuk hati (Szkudelski, 2001). Hati merupakan organ utama dalam metabolisme glukosa dan detoksifikasi zat berbahaya sehingga sangat rentan mengalami kerusakan akibat hiperglikemia dan paparan panas berlebih. Kombinasi antara diabetes dan paparan radio-frekuensi diduga memperberat gangguan metabolisme hepatosit sehingga jumlah sel abnormal meningkat secara signifikan.

Perubahan histologi yang ditemukan pada penelitian ini berupa degenerasi vakuoler, piknosis inti, nekrosis, dan disorganisasi hepatosit menunjukkan adanya gangguan fungsi sel hati. Degenerasi vakuoler terjadi akibat gangguan metabolisme lemak dan air di dalam sel, sedangkan piknosis inti menunjukkan proses kerusakan inti sel yang mengarah pada kematian sel. Nekrosis yang terlihat pada beberapa

preparat menandakan adanya kerusakan permanen pada hepatosit akibat paparan radio-frekuensi dan kondisi diabetes (Mescher, 2018).

Secara umum, peningkatan tegangan radio-frekuensi cenderung berbanding lurus dengan tingkat kerusakan histologi hati mencit diabetes. Semakin tinggi tegangan yang diberikan, jumlah sel normal semakin menurun dan jumlah sel abnormal semakin meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa paparan radio-frekuensi dalam penelitian ini belum memberikan efek protektif terhadap jaringan hati, tetapi justru memperparah kerusakan hepatosit pada mencit diabetes.

Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa hati merupakan organ yang sensitif terhadap perubahan suhu dan gangguan metabolisme akibat paparan energi elektromagnetik. Oleh karena itu, penggunaan radio-frekuensi dalam bidang terapi perlu mempertimbangkan besar tegangan dan lama pemaparan agar tidak menimbulkan kerusakan jaringan yang berlebihan, terutama pada individu dengan gangguan metabolik seperti diabetes mellitus.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa paparan tegangan radio-frekuensi memberikan pengaruh terhadap gambaran histologi hati mencit diabetes. Pengaruh tersebut ditandai dengan peningkatan jumlah sel abnormal dan kerusakan struktur hepatosit seiring meningkatnya tegangan radio-frekuensi. Kerusakan jaringan hati diduga disebabkan oleh efek termal, stres oksidatif, peningkatan radikal bebas, serta gangguan metabolisme akibat kondisi diabetes dan paparan radio-frekuensi secara bersamaan.

4.3 Kajian Keislaman

Penelitian mengenai pengaruh tegangan radio-frekuensi terhadap kadar glukosa, kolesterol darah, serta histologi hati pada mencit diabetes merupakan salah satu bentuk pengembangan ilmu pengetahuan dalam bidang kesehatan. Dalam perspektif Islam, menjaga kesehatan merupakan bagian dari upaya menjaga amanah

yang telah diberikan oleh Allah SWT kepada manusia. Penyakit diabetes dapat menyebabkan gangguan metabolisme dan kerusakan organ tubuh seperti hati, sehingga diperlukan berbagai upaya penelitian untuk menemukan metode penanganan yang efektif dan aman.

Allah SWT berfirman dalam Al-Qur'an surah Al-Baqarah: 195:

وَأَنْفُقُوا فِي سَبِيلِ هَالِكٍ وَلَ تُلْقُوا بِأَيْدِيكُمْ إِلَى التَّهْلُكَةِ وَأَحْسِنُوا إِنَّ هَالِكٍ يُحِبُّ الْمُحْسِنِينَ ١٩٥ ﴿١٩٥﴾

“Berinfaklah di jalan Allah, janganlah jerumuskan dirimu ke dalam kebinasaan, dan berbuatbaiklah. Sesungguhnya Allah menyukai orang-orang yang berbuat baik.” Q.S. Al-Baqarah (2): 195.

QS. Al-Baqarah ayat 195 menjelaskan bahwa manusia diperintahkan untuk menjaga dirinya dari hal-hal yang dapat menyebabkan kerusakan atau membahayakan kesehatan tubuh. Penelitian ini menunjukkan bahwa paparan radiofrekuensi memberikan pengaruh terhadap kadar glukosa, kolesterol darah, dan struktur histologi hati mencit diabetes. Hasil tersebut membuktikan bahwa tubuh memiliki keseimbangan biologis yang dapat berubah akibat pengaruh faktor luar, termasuk paparan energi listrik radio-frekuensi.

Dalam penelitian ini ditemukan bahwa peningkatan tegangan radio-frekuensi cenderung meningkatkan kerusakan sel hati dan memengaruhi metabolisme tubuh. Oleh karena itu, penggunaan teknologi radio-frekuensi dalam bidang kesehatan perlu memperhatikan keamanan dan batas paparan agar tidak menimbulkan dampak negatif terhadap organ tubuh. Hal ini sejalan dengan ajaran Islam yang menekankan pentingnya menjaga kesehatan dan menghindari hal-hal yang dapat membahayakan diri sendiri.

Dengan demikian, penelitian ini dapat diintegrasikan dalam perspektif Islam sebagai bentuk ikhtiar manusia dalam memahami pengaruh teknologi terhadap

tubuh serta upaya menjaga kesehatan melalui pengembangan ilmu pengetahuan yang bermanfaat bagi kehidupan manusia.

Kemudian (Albaihaqi, 2003) mengatakan

إِنَّ اللَّهَ يُبِّ إِذَا عَمِلَ أَحَدُكُمْ عَمَلًا أَنِّي ثِقَنَ هُ bahwa:

“Sesungguhnya Allah mencintai apabila salah seorang di antara kalian melakukan suatu pekerjaan, ia melakukannya dengan sebaik-baiknya (profesional).” (HR. Al Baihaqi dalam Syu’ab al-iman)

Penelitian yang dilakukan secara sistematis, mulai dari pengukuran kadar glukosa, kolesterol, analisis histologi hati, hingga pengujian statistik menggunakan *Two Way* (ANOVA) dan DMRT merupakan bentuk profesionalisme dalam memperoleh data ilmiah yang valid. Nilai-nilai ketelitian, objektivitas, dan kejujuran ilmiah merupakan implementasi dari konsep *itqan* yang diajarkan Rasulullah ﷺ.

Hadis tersebut mengajarkan konsep *itqan*, yaitu melakukan setiap pekerjaan secara sungguh-sungguh, teliti, profesional, dan bertanggung jawab. Dalam perspektif Islam, penelitian ilmiah bukan hanya aktivitas akademik, tetapi juga merupakan bentuk ibadah apabila dilakukan dengan niat yang benar dan memberikan manfaat bagi manusia. Oleh karena itu, setiap tahapan penelitian harus dilaksanakan sesuai kaidah ilmiah agar menghasilkan data yang valid, objektif, dan dapat dipertanggungjawabkan.

Konsep *itqan* tercermin dalam penelitian ini sejak tahap persiapan hingga analisis data. Penelitian dilakukan melalui prosedur yang sistematis, dimulai dari aklimatisasi hewan coba, induksi diabetes menggunakan aloksan, pemberian perlakuan radiofrekuensi sesuai variasi tegangan dan waktu, pengukuran kadar

glukosa dan kolesterol menggunakan alat yang telah ditentukan, hingga pengamatan histologi hati menggunakan preparat jaringan. Seluruh tahapan tersebut dilakukan mengikuti metode penelitian yang telah dirancang sehingga meminimalkan kesalahan selama proses eksperimen.

Selain itu, penerapan uji statistik seperti *Two Way* (ANOVA) dan *Duncan Multiple Range Test* (DMRT) juga merupakan bentuk implementasi prinsip *itqan*. Analisis statistik dilakukan bukan sekadar untuk memperoleh hasil, tetapi untuk memastikan bahwa kesimpulan yang diambil benar-benar didasarkan pada bukti ilmiah yang objektif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian radiofrekuensi belum memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kadar glukosa darah mencit diabetes. Dalam Islam, hasil seperti ini tetap memiliki nilai ilmiah karena peneliti dituntut untuk menyampaikan data secara jujur tanpa memanipulasi hasil agar sesuai dengan harapan. Kejujuran dalam melaporkan hasil penelitian merupakan bagian dari amanah ilmiah yang sangat dijunjung tinggi dalam ajaran Islam.

Lebih lanjut, konsep *itqan* juga menuntut peneliti untuk terus melakukan evaluasi dan pengembangan ilmu pengetahuan. Hasil penelitian yang belum menunjukkan efektivitas yang signifikan bukan berarti penelitian gagal, melainkan menjadi dasar bagi penelitian selanjutnya untuk memperbaiki desain penelitian, menambah jumlah sampel, memodifikasi parameter radiofrekuensi, atau mengembangkan metode terapi yang lebih efektif. Dengan demikian, penelitian ini merupakan bagian dari ikhtiar manusia dalam menggali ilmu pengetahuan yang telah Allah anugerahkan untuk memberikan manfaat bagi kesehatan, khususnya dalam pengembangan terapi alternatif bagi penderita diabetes.

Nilai *itqan* dalam penelitian ini juga selaras dengan firman Allah SWT dalam QS. Al-Mulk ayat 2, bahwa Allah menguji manusia untuk mengetahui siapa yang

paling baik amalnya (ahsanu 'amala). Ayat tersebut menunjukkan bahwa kualitas suatu pekerjaan lebih diutamakan daripada sekadar banyaknya pekerjaan yang dilakukan. Oleh sebab itu, penelitian yang dilaksanakan secara teliti, jujur, objektif, dan sesuai metode ilmiah merupakan bentuk pengamalan nilai-nilai Islam dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Hasil penelitian dan analisis pengaruh tegangan radio-frekuensi terhadap kadar glukosa, kolesterol darah, serta histologi hati pada mencit (*Mus musculus*) diabetes dapat disimpulkan bahwa:

1. Pemberian tegangan radio-frekuensi cenderung meningkatkan kadar glukosa darah mencit diabetes seiring bertambahnya tegangan dan lama paparan. Kadar glukosa naik pada tegangan 1,5 Volt pada waktu 5 menit sebesar 407,67 mg/DL dan turun lagi pada tegangan 1 Volt pada waktu 5 menit sebesar 318 mg/DL.
2. Pemberian tegangan radio-frekuensi cenderung meningkatkan kadar kolesterol darah mencit diabetes seiring bertambahnya tegangan dan lama paparan. Kadar kolesterol naik pada tegangan 1 Volt pada waktu 5 menit sebesar 142 dan turun lagi pada tegangan 2 Volt pada waktu 5 menit sebesar 128,33 mg/DL.
3. Pemberian tegangan radio-frekuensi memengaruhi gambaran histologi hati mencit diabetes yang ditandai dengan penurunan jumlah sel normal dan peningkatan jumlah sel abnormal seiring meningkatnya tegangan. Kerusakan histologi hati meliputi degenerasi hepatosit, vakuolisasi, piknosis inti, dan nekrosis sel hati.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar penelitian selanjutnya menggunakan jumlah sampel yang lebih banyak, variasi tegangan dan durasi paparan radio-frekuensi yang lebih luas, serta menambahkan parameter pemeriksaan seperti kadar insulin, fungsi hati, dan stres oksidatif agar diperoleh hasil yang lebih akurat dan komprehensif. Selain itu, pengamatan histologi hati perlu dilakukan dengan metode yang lebih detail untuk mengetahui tingkat kerusakan jaringan secara lebih spesifik. Penelitian lanjutan juga diperlukan untuk mengetahui keamanan serta efektivitas jangka panjang paparan radio-frekuensi sebagai alternatif terapi non-farmakologis pada diabetes melitus.

DAFTAR PUSTAKA

- Abolfathi, A. A., D. Mohajeri, A. Rezaie, dan M. Nazeri. 2012. "Protective Effects of Green Tea Extract against Hepatic Tissue Injury in Streptozotocin Induced Diabetic Rats." **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine** 2012: 1–10.
- Ahyana, N. 2011. **Ada Apa dengan Obat Diabetes Mellitus dan Obat Hipertensi**. Yogyakarta: Imperium.
- Anonim. 2011. **Konsensus Pengelolaan dan Pencegahan Diabetes Melitus Tipe 2 di Indonesia**. Jakarta.
- Brata, A., dan Y. B. Pratiwi. 2019. "Uji Efektivitas Infusa Daun Insulin (**Thitonia diversifolia** (Hemsl.) A. Gray) terhadap Penurunan Kadar Glukosa Darah pada Mencit (**Mus musculus**) Putih Jantan." **Jurnal Bahana Kesehatan Masyarakat** 3(2).
<https://doi.org/10.35910/jbkm.v3i2.225>.
- Brodmerkel, A., dan N. A. S. Taylor. 2016. "Heat Therapy and Cardiovascular Responses." **Temperature Journal**.
- Buraerah, H. 2010. "Analisis Faktor Risiko Diabetes Melitus Tipe 2 di Puskesmas Tanrutedong, Sidenreng Rappang." **Jurnal Ilmiah Nasional**. Tersedia pada:
<http://lib.atmajaya.ac.id/default.aspx?tabID=61&src=a&id=186192>.
- Callstrom, M. R., J. W. Charboneau, M. P. Goetz, J. Rubin, G. Y. Wong, J. A. Sloan, dkk. 2002. "Painful Metastases Involving Bone: Feasibility of Percutaneous CT- and US-Guided Radio-Frequency Ablation." **Radiology** 224: 87–97.
<https://doi.org/10.1148/radiol.2241011613>.
- Chatterjee, S., dan M. J. Davies. 2015. "Current Management of Diabetes Mellitus and Future Directions in Care." **Postgraduate Medical Journal** 91: 612–621. <https://doi.org/10.1136/postgradmedj-2014-133200>.
- Chua, N. H., W. Halim, T. Beems, dan K. C. Vissers. 2012. "Pulsed Radiofrequency Treatment for Trigeminal Neuralgia." **Anesthesiology and Pain Medicine** 1: 257–261.
<https://doi.org/10.5812/aapm.3493>.

- Departemen Kesehatan RI. 2005. **Pharmaceutical Care untuk Penyakit Diabetes Melitus**. Jakarta: Departemen Kesehatan RI.
- Dias, A. S., M. Porawski, M. Alonso, M. Marroni, P. S. Collado, dan J. GonzalezGallego. 2005. "Quercetin Decreases Oxidative Stress, NF-KB Activation, and iNOS Overexpression in Liver of Streptozotocin-Induced Diabetic Rats." **The Journal of Nutrition** 135(10): 2299–2304.
- Goldberg, N. S., dan D. E. Depuy. 2001. "Image Guided Radiofrequency Part I." **Journal of Vascular and Interventional Radiology** 12: 1021–1032.
- Goldberg, S. N. 2021. "Radiofrequency Tumor Ablation: Principles and Techniques." **European Journal of Ultrasound**.
- Gupta, A., M. Sharma, dan J. Sharma. 2015. "A Role of Insulin in Different Types of Diabetes." **International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences** 4: 58–77.
- Guyton, A. C., dan J. E. Hall. 2016. **Textbook of Medical Physiology**. Edisi ke13. Philadelphia: Elsevier.
- Harding, A. H., dkk. 2003. "Dietary Fat and Risk of Clinical Type Diabetes." **American Journal of Epidemiology** 157(1): 150–159.
- Harikumar, K., B. K. Kumar, G. J. Hemalatha, M. B. Kumar, dan S. F. S. Lado. 2015. "A Review on Diabetes Mellitus." **International Journal of Novel Trends in Pharmaceutical Sciences** 5: 201–217.
- Hengkengbala, M., dkk. 2013. "Effect of Heat Exposure on Lipid Metabolism." **Journal of Thermal Biology**.
- Hong, K., dan C. S. Georgiades. 2011. **Radiofrequency Ablation Mechanism of Action and Device**. New York: Thieme Medical Publisher.
- International Diabetes Federation. 2021. **IDF Diabetes Atlas**. Edisi ke-10. Brussels: International Diabetes Federation.
- Janez, A., C. Guja, A. Mitrakou, N. Lalic, T. Tankova, L. Czupryniak, dkk. 2020. "Insulin Therapy in Adults with Type 1 Diabetes Mellitus: A Narrative Review." **Diabetes Therapy** 11: 387–409. <https://doi.org/10.1007/s13300-019-00743-7>.
- Jeffrey, S. B. 2008. **Modern Electronic Communication**. Edisi ke-9. New Jersey: Pearson Education.
- Joyce, L. K. 2006. **Buku Saku Pemeriksaan Laboratorium dan Diagnostik dengan Implikasi Keperawatan**. Jakarta: EGC.

- Kim, J. S., F. S. Nahm, E. J. Choi, P. B. Lee, dan G. Y. Lee. 2012. "Pulsed Radiofrequency Lesioning of the Axillary and Suprascapular Nerve in Calcific Tendinitis." **The Korean Journal of Pain** 25(1): 60–64. <https://doi.org/10.3344/kjp.2012.25.1.60>.
- Koyu, A., dkk. 2005. "Effects of 900 MHz Electromagnetic Field on Tissues and Oxidative Stress in Rats." **Toxicology and Industrial Health**.
- Lenzen, S. 2008. "The Mechanisms of Alloxan- and Streptozotocin-Induced Diabetes." **Diabetologia** 51(2): 216–226.
- Malangngi, L., M. Sangi, dan J. Paendong. 2012. "Penentuan Kandungan Tanin dan Uji Aktivitas Antioksidan Ekstrak Biji Buah Alpukat (**Persea americana** Mill.)." **Jurnal MIPA** 1(1): 5. <https://doi.org/10.35799/jm.1.1.2012.423>.
- Marin-Penalver, J. J., I. Martin-Timon, C. Sevillano-Collantes, dan F. J. Del CanizoGomez. 2016. "Update on the Treatment of Type 2 Diabetes Mellitus." **World Journal of Diabetes** 7: 353–395. <https://doi.org/10.4239/wjd.v7.i17.354>.
- Marewa, L. W. 2015. **Kencing Manis (Diabetes Melitus) di Sulawesi Selatan**. Edisi ke-1. Jakarta: Yayasan Pustaka Obor Indonesia.
- Mescher, A. L. 2018. **Junqueira's Basic Histology: Text and Atlas**. Edisi ke-15. New York: McGraw-Hill Education.
- Misnadiarly. 2006. **Diabetes Mellitus: Gangren, Ulcer, dan Infeksi**. Jakarta: Pustaka Populer Obor.
- Moore, J. B., dkk. 2020. "The Effect of Heat Therapy on Glucose Metabolism and Insulin Sensitivity." **Journal of Applied Physiology**.
- Özorak, A., dkk. 2013. "Effects of Electromagnetic Radiation Exposure on the Rat Liver Tissue." **Toxicology and Industrial Health**.
- Pennes, H. H. 1948. "Analysis of Tissue and Arterial Blood Temperatures in the Resting Human Forearm." **Journal of Applied Physiology** 1(2): 93–122.
- Sa'diyah, L., dan D. Hariani. 2021. "Pengaruh Induksi Aloksan terhadap Kadar Glukosa Darah dan Kerusakan Jaringan Hati Mencit." **LenteraBio**.

Salsabiela. 2023. *Pengaruh Paparan Radio-Frekuensi terhadap Kadar Kolesterol pada Mencit Diabetes*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Sievenpiper, J. L., C. B. Chan, P. D. Dworatzek, C. Freeze, dan S. L. Williams. 2018. "Nutrition Therapy." *Canadian Journal of Diabetes* 42: S64–S79. <https://doi.org/10.1016/j.cjcd.2017.10.009>.

Sorli, C. 2014. "New Developments in Insulin Therapy for Type 2 Diabetes." *The American Journal of Medicine* 127: S39–S48. <https://doi.org/10.1016/j.amjmed.2014.07.006>.

Sutanto, T. 2013. *Deteksi, Pencegahan, dan Pengobatan Diabetes*. Yogyakarta: Buku Pintar.

Szkudelski, T. 2001. "The Mechanism of Alloxan and Streptozotocin Action in β Cells of the Rat Pancreas." *Physiological Research* 50: 537–546.

Teixeria, L. 2011. "Regular Physical Exercise Training Assists in Preventing Type 2 Diabetes Development: Focus on Its Antioxidant and Anti-Inflammatory Properties." *Cardiovascular Diabetology* 10(2): 1–15.

Van Boxem, K., M. Van Eerd, T. Brinkhuizen, J. Patijn, M. Van Kleef, dan J. Van Zundert. 2008. "Radiofrequency and Pulsed Radiofrequency Treatment of Chronic Pain Syndromes." *Pain Practice*. [<https://doi.org/10.1111/j.15332500.2008.00227.x>](<https://doi.org/10.1111/j.1533-2500.2008.00227.x>).

William, R., S. Kapur, dan H. Mutagi. 2011. "Radiofrequency Therapies in Chronic Pain." *Continuing Education in Anaesthesia Critical Care & Pain* 11(2): 35–38. <https://doi.org/10.1093/bjaceaccp/mkq057>.

Yilmaz, T., R. Foster, dan Y. Hao. 2019. "Radio-Frequency and Microwave Techniques for Non-Invasive Measurement of Blood Glucose Levels." *Diagnostics* 9(1): 6.

Zierath, J. R. 2019. "Major Advances and Discoveries in Diabetes – 2019 in Review." *Current Diabetes Reports* 19: 118. [<https://doi.org/10.1007/s11892-019-1255x>](<https://doi.org/10.1007/s11892-019-1255-x>).

Zidny. 2024. *Pengaruh Radio-Frekuensi terhadap Penurunan Kadar Asam Urat pada Mencit Diabetes*. Skripsi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

LAMPIRAN

LAMPIRAN

Lampiran 1. Gambar penelitian



Mencit dicukur bagian perut



aklimatisasi mencit



Pengambilan gambar histologi hati



pengecekan kadar glukosa dan kolesterol



Pembedahan mencit

Lampiran 2. Data Hasil Penelitian

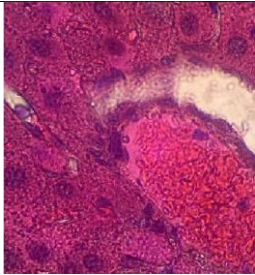
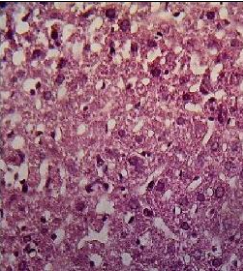
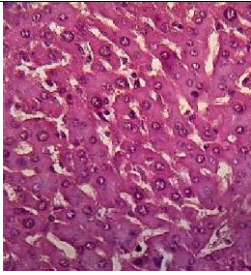
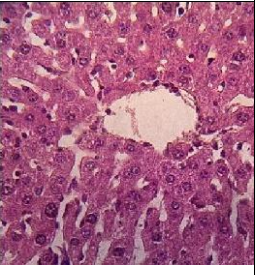
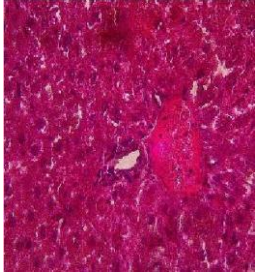
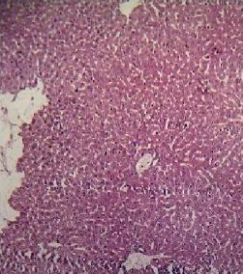
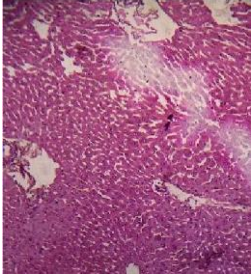
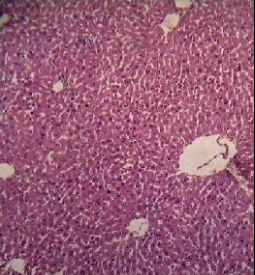
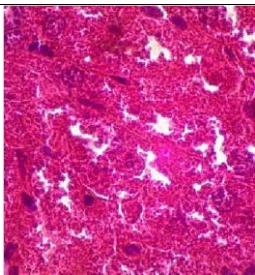
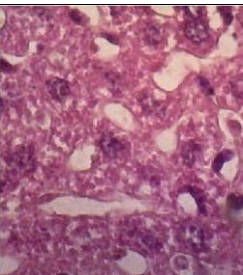
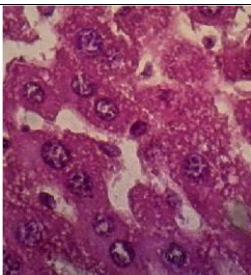
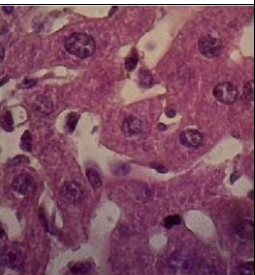
1. Data Hasil Pengukuran Kadar Glukosa

Tegangan (V)	Waktu (menit)	Kadar Glukosa (mg/dL)				SD
		1	2	3	Rata-rata	
Kontrol	3	124	391	146	220,33	148,22
	5	124	391	146	220,33	148,22
1	3	521	145	166	277,33	211,21
	5	550	205	199	318	201
1,5	3	580	323	161	354,67	211,31
	5	598	443	182	407,67	210,21
2	3	561	388	139	362,67	212,12
	5	563	337	189	363	188,38

2. Data Hasil Pengukuran Kadar Kolesterol Darah

Tegangan (V)	Waktu (menit)	Kadar Kolesterol (mg/dL)				SD
		1	2	3	Rata-rata	
Kontrol	3	110	100	100	103,33	5,77
	5	110	100	100	103,33	5,77
1	3	132	118	101	117	152,52
	5	147	102	177	142	37,75
1,5	3	141	126	151	139,33	12,59
	5	102	126	152	126,67	25,02
2	3	100	118	161	126,33	31,35
	5	116	110	159	128,33	26,73

3. Gambar Histologi Hati Mencit

KONTROL	1V	1,5V	2V
			
			
			

4. Skoring Histologi Hati

Tegangan (V)	Waktu (menit)	Skoring Histologi Hati Mencit Diabetes				Skor
		Sel Normal	Sel Abnormal	Total Sel	% Abnormal	
Kontrol	-	27	16	43	37,21%	2
	-	27	16	43	37,21%	2
1	3	5	31	36	86,11%	4
	5	5	36	41	87,80%	4
1,5	3	3	39	42	92,86%	4
	5	1	58	59	98,31%	4
2	3	3	35	38	92,11%	4
	5	3	59	62	95,16%	4

5. Two Way Anova Histologi Hati

Source	Type III Sum Of Squares	Df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3354.715	4	838.679	15.631	0.024
Tegangan	2404.144	2	1202.072	22.404	0.016
Waktu	200.784	1	200.784	3.742	0.148
Tegangan x Waktu	43.123	1	43.123	0.804	0.436
Error	160.965	3	53.655		
Total	56984.770	8			

Corrected	3515.680	7			
Total					



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
Jalan Gajayana Nomor 50, Telepon (0341)551354, Fax. (0341) 572533
Website: <http://www.uin-malang.ac.id> Email: info@uin-malang.ac.id

JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 220604110034
Nama : MUHAMMAD SAPTA BIMO UTOMO
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan : FISIKA
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si
Dosen Pembimbing 2 : Dr. UMAIYATUS SYARIFAH, MA
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : Pengaruh tegangan radio frekuensi terhadap kadar glukosa, kolesterol darah, serta histologi hati mencit diabetes

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	25 September 2025	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si	Pengajuan judul skripsi	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
2	23 Oktober 2025	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si	konsultasi terkait bab 1,2,3	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
3	14 Januari 2026	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si	Konsultasi untuk ujian komprehensif	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
4	15 April 2026	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si	Konsultasi offline terkait analisis data bab 4	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
5	06 Mei 2026	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si	revisi bab 4	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
6	12 Mei 2026	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si	revisi dan melanjutkan ke pembahasan sampai bab 5	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
7	13 Mei 2026	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si	konsultasi terkait data skripsi	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
8	13 Mei 2026	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si	Proses revisi bab 4	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
9	18 Mei 2026	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si	revisi bab 4	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
10	19 Mei 2026	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si	di perintahkan seminar proposal	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi
11	21 Mei 2026	Dr. UMAIYATUS SYARIFAH, MA	bimbingan integrasi quran dengan judul skripsi	Genap 2025/2026	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

Dr. UMAIYATUS SYARIFAH, MA



Farid Samudra Hananto, M.T

Malang,

Dosen Pembimbing 1

Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO, M.Si