

**EFEK STIMULASI LISTRIK DAN ANTIBIOTIK TERHADAP
PERTUMBUHAN BAKTERI *Pseudomonas aeruginosa* PADA LUKA
MENCIT (*Mus mucus*) DIABETES MELITUS**

SKRIPSI

Oleh:
NURUL WULANDARI
NIM. 200604110030



**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

**EFEK STIMULASI LISTRIK DAN ANTIBIOTIK TERHADAP
PERTUMBUHAN BAKTERI *Pseudomonas aeruginosa* PADA LUKA
MENCIT (*Mus mucus*) DIABETES MELITUS**

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:
NURULWULANDARI
NIM. 200604110030**

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2024**

HALAMAN PERSETUJUAN

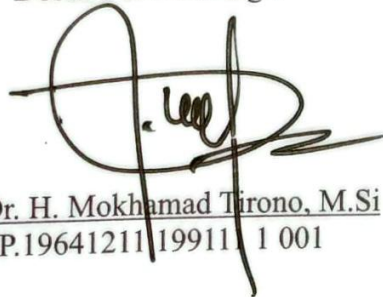
EFEK STIMULASI LISTRIK DAN ANTIBIOTIK TERHADAP
PERTUMBUHAN BAKTERI *Pseudomonas aeruginosa* PADA LUKA MENCIT
(*Mus mucus*) DIABETES MELITUS

SKRIPSI

Oleh:
NURUL WULANDARI
NIM. 200604110030

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji
Pada tanggal, 14 Oktober 2024

Dosen Pembimbing I



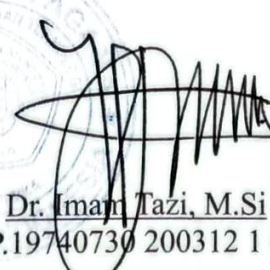
Prof. Dr. H. Mokhammad Tirono, M.Si
NIP.1964121119911 1 001

Dosen Pembimbing II



Rusli, M.Si
NIP.19880715 202012 1 003

Mengetahui,
Ketua Program Studi



Dr. Iman Tazi, M.Si
NIP.19740730 200312 1 002

HALAMAN PENGESAHAN

EFEK STIMULASI LISTRIK DAN ANTIBIOTIK TERHADAP
PERTUMBUHAN BAKTERI *Pseudomonas aeruginosa* PADA LUKA MENCIT
(*Mus mucus*) DIABETES MELITUS

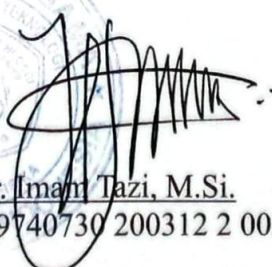
SKRIPSI

Oleh:
NURUL WULANDARI
NIM. 200604110030

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal, 28 Oktober 2024

Penguji Utama	:	<u>Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes</u> NIP. 19750808 199903 1 003	
Ketua Penguji	:	<u>Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si</u> NIP. 19870215 202321 2 031	
Sekretratis Penguji	:	<u>Prof. Dr. H. Mokhamad Tirono, M.Si</u> NIP. 19641211 199111 1 001	
Anggota Penguji	:	<u>Rusli, M.Si</u> NIP. 19880715 202012 1 003	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi


Dr. Imah Tazi, M.Si.
NIP. 19740730 200312 2 002

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Nurul Wulandari

NIM : 200604110030

Jurusan : Fisika

Fakultas : Sains Dan Teknologi

Judul Penelitian : Efek Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* pada Luka Mencit (*Mus musculus*) Diabetes Melitus

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa skripsi yang saya susun merupakan hasil karya saya sendiri. Seluruh isi skripsi ini tidak mengandung unsur penjiplakan, baik sebagian maupun keseluruhan, dari karya pihak lain, kecuali bagian-bagian yang secara eksplisit dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan serta daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa skripsi ini mengandung unsur jiplakan, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Malang, 25 September 2024
Yang Membuat Pernyataan



Nurul Wulandari
NIM. 200604110030

MOTTO

“Hidup akan selalu berakhir dengan indah, kawan. Bila belum indah, maka belum berakhir”

- Patrick -

“Kesuksesan tidak ditentukan oleh seberapa cepat kita tiba di garis akhir; terlambat bukan berarti gagal, melainkan bagian dari perjalanan unik yang membuat kita memahami bahwa Allah telah menyiapkan hadiah yang lebih indah sebagai imbalan atas kesabaran kita.”

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah, serta kekuatan-Nya, yang telah mengiringi setiap langkah dalam perjalanan panjang penyusunan skripsi ini. Sholawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah menjadi suri tauladan dalam menjalani kehidupan ini. Skripsi ini merupakan hasil dari usaha dan kerja keras penulis. Dengan demikian, penulis mempersembahkan skripsi ini kepada:

1. Bapak tersayang, Bapak Purwito yang saat ini sudah bahagia di surga. Terima kasih telah bekerja keras dan mengusahakan apapun demi penulis, meskipun tidak menemani penulis hingga mendapatkan gelar sarjana. Penulis yakin bahwa doa bapak selalu menyertai dimanapun penulis berada. Terima kasih telah menyayangi dan mencintai penulis meskipun tidak diungkapkan secara langsung. Penulis minta maaf karena belum memberikan yang terbaik, tapi penulis berjanji akan memberikan yang terbaik dan membuat Bapak bangga di atas sana.
2. Ibu tersayang, Ibu Sunarti. Terima kasih telah memberikan kasih sayang, doa, dan semangat yang tanpa henti kepada penulis. Terima kasih telah mendampingi dan memotivasi penulis hingga skripsi ini terselesaikan. Tanpa doa yang tulus dari ibu, pencapaian ini tidak akan mungkin terwujud. *Thank you for being the best parents in the whole world. Love you mother and father.*
3. Kakak penulis, Mochammad Heru, Fitriya Andriani, Kuswanto, dan adik penulis, Zahrotuzzita. Terima kasih selalu memberikan semangat, doa, dan

dukungan hingga skripsi ini terselesaikan. Terima kasih telah mendengarkan keluh kesah penulis tentang bagaimana dunia perkuliahan terlebih saat memasuki semester akhir.

4. Dosen Pembimbing, Prof. Dr. H. M. Tirono, M.Si. Terima kasih dengan sabar telah membimbing, memberikan ilmu, dan saran serta meluangkan waktu yang berharga untuk penulis.
5. Sahabat seperjalanan, Roimatul Farida. Terima kasih telah kebersamaan penulis selama proses perkuliahan terlebih saat penelitian dan penyusunan skripsi ini. Terima kasih selalu menjadi teman diskusi, bercerita, dan berkeluh kesah. Semoga apa yang menjadi angan-angan kita selama ini bisa terwujud suatu hari nanti.
6. Sahabat terbaik sepanjang masa, Nur Hayati. Terima kasih selalu siap menjadi tempat bercerita penulis dan membuktikan bahwa teman yang tulus itu benar adanya. M. Ronaldi Yudha Harianto, terima kasih telah memberikan semangat dan selalu membantu penulis.
7. Diri sendiri, Nurul Wulandari. Terima kasih telah berusaha dan berjuang selama ini, meski sempat merasa kehilangan arah ketika Bapak tak lagi hadir menemani langkahnya. Skripsi ini terselesaikan adalah suatu pencapaian yang sangat luar biasa, karena di dalamnya ada proses suka dan duka. Penulis percaya, setelah hujan pasti ada pelangi, dan pelangi itu muncul satu persatu dalam hidup penulis.

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Wr. Wb

Dengan memanjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT Sang Maha Segalanya, atas berkat rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Efek Stimulasi listrik dan Antibiotik terhadap Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* pada Luka Mencit (*Mus musculus*) Diabetes Melitus”**. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, arahan, serta dukungan dari berbagai pihak. Dengan penuh rasa hormat dan terima kasih, penulis ingin menyampaikan penghargaan kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, MA., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Imam Tazi, M.Si., selaku Ketua Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Prof. Dr. H. Mokhammad Tirono, M.Si dan Rusli, M.Si., selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan arahan, bimbingan, motivasi, serta waktu yang sangat berharga dalam penyusunan dan penyelesaian skripsi ini.
5. Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes dan Wiwis Sasmitaninghidayah, M.Si., selaku dosen penguji skripsi yang telah memberikan masukan berharga,

kritik yang membangun, serta arahan yang sangat membantu dalam penyempurnaan skripsi ini.

6. Seluruh Dosen, Laboran dan Staf Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang atas segala dukungan, arahan, dan fasilitas yang telah diberikan selama proses perkuliahan dan penelitian ini.
7. Bapak dan Ibu serta keluarga inti penulis, yang selalu memberikan doa, dukungan, kasih sayang, serta motivasi yang tiada henti, baik secara moral maupun material, selama penulis menempuh pendidikan hingga penyelesaian skripsi ini.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis selama penyusunan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa skripsi masih jauh dari kata sempurna.

Oleh karena itu, penulis berharap dapat belajar lebih banyak lagi dalam mengimplementasikan ilmu yang didapatkan. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca.

Wassalamu 'alaikum Wr. Wb.

Malang, 26 September 2024

Penulis

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN PENGANTAR	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
مستخلص البحث	xvii

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	7
1.4 Manfaat Penelitian	7
1.5 Batasan Masalah	8

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Stimulasi Listrik	9
2.1.1 Elektrostimulator	9
2.2.2 Arus Listrik	10
2.2 Antibiotik	12
2.3 Bakteri <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	13
2.3.1 Morfologi	13
2.3.2 Patogenesis	15
2.4 Diabetes Melitus	15
2.5 Efek Stimulasi Listrik terhadap Kematian Bakteri	16
2.5.1 Efek Termal	16
2.5.2 Elektrolisis	18
2.6 Efek Stimulasi Listrik terhadap Penyembuhan Luka	19

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian	21
3.2 Tempat Penelitian	21
3.3 Alat dan Bahan	21
3.4 Rancangan Penelitian	22
3.5 Prosedur Penelitian	25
3.5.1 Bakteri	25
3.5.1.1 Sterilisasi	25
3.5.1.2 Pembuatan Media NA (Nutrien Agar)	25
3.5.1.3 Penumbuhan Bakteri <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	25

3.5.1.4 Persiapan Kulit Sapi	26
3.5.1.5 Perlakuan Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Kulit Sapi	26
3.5.1.6 Perhitungan Jumlah Koloni Bakteri	27
3.5.2 Mencit	27
3.5.2.1 Persiapan Hewan Uji	27
3.5.2.2 Induksi Aloksan Monohidrat pada Hewan Uji	28
3.5.2.3 Pengukuran Kadar Gula Darah pada Hewan Uji	28
3.5.2.4 Pemberian Luka Sayat pada Hewan Uji	29
3.5.2.5 Perlakuan Stimulasi Listrik dan Antibiotik pada Luka Hewan Uji	29
3.5.2.6 Pengamatan Visual Kondisi Luka Hewan Uji	29
3.5.2.7 Pengamatan Mikroskopis Kondisi Luka Hewan Uji	30
3.6 Teknik Pengolahan Data	30
3.7 Teknik Analisis Data	32

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian	34
4.1.1 Pengaruh Tegangan Pulsa Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Pertumbuhan Bakteri <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	34
4.1.2 Pengaruh Waktu Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Pertumbuhan Bakteri <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	38
4.1.3 Pengaruh Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Kondisi Luka Mencit Diabetes Melitus	40
4.1.3.1 Kadar Gula Darah	40
4.1.3.2 Perkembangan Kondisi Luka Mencit	41
4.1.3.3 Pengamatan Preparat Histopatologi	46
4.2 Pembahasan	48
4.2.1 Pengaruh Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Jumlah Bakteri <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	49
4.2.2 Pengaruh Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Perkembangan Kondisi Luka Mencit Diabetes Melitus	52
4.3 Bakteri dan Pengobatan dalam Perspektif Islam	56

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	60
5.2 Saran	61

DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Elektrostimulator	9
Gambar 2.2 Simbol Hambatan Listrik.....	11
Gambar 2.3 Bentuk Mikroskopik <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	14
Gambar 3.1 Diagram Alir Penonaktifan Bakteri <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	23
Gambar 3.2 Diagram Alir Pemberian Stimulasi Listrik dan Antibiotik pada Luka Mencit.....	24
Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Tegangan Pulsa Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Pertumbuhan Bakteri <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	36
Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Waktu Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Pertumbuhan Bakteri <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	38

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Pengolahan Data Jumlah Koloni Bakteri <i>P. aeruginosa</i>	31
Tabel 3.2 Uji Kadar Gula pada Mencit Sebelum dan Sesudah Penelitian.....	31
Tabel 3.3 Pengolahan Data Panjang dan Lebar Luka Mencit.....	32
Tabel 3.4 Pengolahan Data Fisiologi Luka.....	32
Tabel 4.1 Data Hasil Pengaruh Tegangan Pulsa Stimulasi Listrik dan Antibiotik 0,1 mL terhadap Pertumbuhan Bakteri <i>P. aeruginosa</i>	35
Tabel 4.2 Hasil Analisis Uji Faktorial Jumlah Koloni Bakteri <i>P. aeruginosa</i>	37
Tabel 4.3 Hasil Uji DMRT Pengaruh Tegangan Pulsa terhadap Pertumbuhan Bakteri <i>P. aeruginosa</i>	37
Tabel 4.4 Hasil Uji DMRT Pengaruh Waktu terhadap Pertumbuhan Bakteri <i>P. aeruginosa</i>	39
Tabel 4.5 Data Hasil Pengukuran Kadar Gula Darah pada Mencit Sebelum dan Sesudah Perlakuan.....	40
Tabel 4.6 Gambar Perkembangan Luka pada Mencit.....	42
Tabel 4.7 Hasil Pengamatan Perkembangan Kondisi Luka pada Mencit.....	44
Tabel 4.8 Panjang dan Lebar Luka Mencit.....	45
Tabel 4.9 Gambar Hasil Pengamatan Preparat Histopatologi Luka Mencit.....	47
Tabel 4.10 Hasil Penilaian Parameter Preparat Histopatologi.....	47

ABSTRAK

Wulandari, Nurul. 2024. **Efek Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* pada Luka Mencit (*Mus musculus*) Diabetes Melitus**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Prof. Dr. H. Mokhammad Tirono, M.Si (II) Rusli, M.Si

Kata Kunci: Stimulasi Listrik, *Pseudomonas aeruginosa*, Luka Diabetes Melitus

Luka kaki diabetes adalah komplikasi serius yang sering terinfeksi bakteri seperti *Pseudomonas aeruginosa*. Metode penyembuhan dalam penelitian ini menggunakan alat EMS (*Electrical Muscle Stimulation*) dan antibiotik alami Biokatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh stimulasi listrik dan antibiotik terhadap pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* serta penyembuhan luka mencit diabetes melitus. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) melibatkan variasi tegangan pulsa 50 V, 60 V, 70 V, dan 80 V; durasi paparan 5 menit, 10 menit, dan 15 menit; serta pemberian antibiotik 0,1 mL. Variabel yang diukur mencakup jumlah koloni bakteri hidup dan kondisi luka sayat mencit diabetes melitus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan pulsa, durasi paparan, dan antibiotik memberikan pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* serta mempercepat penyembuhan luka pada mencit diabetes. Tegangan pulsa 80 V dengan durasi paparan 15 menit terbukti paling efektif dalam mematikan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dengan penurunan jumlah bakteri mencapai 87,9%, serta luka pada mencit menunjukkan pengecilan dan penutupan dengan rata-rata panjang luka berkurang dari 1 cm menjadi $\pm 0,4$ cm.

ABSTRACT

Wulandari, Nurul. 2024. **Effects of Electrical Stimulation and Antibiotics on the Growth of *Pseudomonas aeruginosa* Bacteria in Wounds of Diabetes Mellitus Mice (*Mus mucus*)**. Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University Malang. Supervisor: (I) Prof. Dr. H. Mokhamad Tirono, M.Si (II) Rusli, M.Si

Keywords: Electrical Stimulation, *Pseudomonas aeruginosa*, Diabetes Melitus Wound

Diabetic foot wounds are serious complications that are often infected with bacteria such as *Pseudomonas aeruginosa*. The healing method in this study uses EMS (Electrical Muscle Stimulation) and Biokatan natural antibiotics. This study aims to determine the effect of electrical stimulation and antibiotics on the growth of *Pseudomonas aeruginosa* bacteria and wound healing of diabetes mellitus mice. This study was conducted experimentally using a completely randomised design (CRD) involving pulse voltage variations of 50 V, 60 V, 70 V, and 80 V; exposure duration of 5 minutes, 10 minutes, and 15 minutes; and administration of 0.1 mL of antibiotics. The measured variables included the number of live bacterial colonies and the condition of the incision wounds of diabetes mellitus mice. The results showed that pulse voltage, exposure duration, and antibiotics had a significant effect on the growth of *Pseudomonas aeruginosa* bacteria and accelerated wound healing in diabetic mice. The pulse voltage of 80 V with an exposure duration of 15 minutes proved to be the most effective in killing *Pseudomonas aeruginosa* bacteria with a decrease in the number of bacteria reaching 87.9%, and wounds in mice showed shrinkage and closure with an average wound length reduced from 1 cm to ± 0.4 cm.

مستخلص البحث

وولانداري، نورول. 2024. تأثير التحفيز الكهربائي والمضادات الحيوية على نمو بكتيريا الزائفة الزنجارية في الفئران الجرح (*Mus musculus*) لمرض السكري. بحث جامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف (I): الدكتور محمد تيرونو، الماجستير، والمشرف (II) روسلي، الماجستير.

الكلمة الرئيسية: التحفيز الكهربائي، الزائفة الزنجارية، جروح داء السكري

تقرحات القدم السكرية هي مضاعفات خطيرة غالباً ما تكون مصابة بالبكتيريا مثل الزائفة الزنجارية. تستخدم طريقة الشفاء في هذه الدراسة EMS (التحفيز الكهربائي للعضلات) والمضادات الحيوية الطبيعية محفز حيوي. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد تأثير التحفيز الكهربائي والمضادات الحيوية على نمو بكتيريا الزائفة الزنجارية. وشفاء الجروح في الفئران المصابة بالسكري. أجريت هذه الدراسة تجريبياً باستخدام تصميم عشوائي كامل (RAL) يتضمن اختلافات في الفولتية النبضية 50 فولت و 60 فولت و 70 فولت و 80 فولت. مدة التعرض 5 دقائق و 10 دقائق و 15 دقيقة؛ وإعطاء 0.1 ml من المضادات الحيوية. تضمنت المتغيرات المقاسة عدد المستعمرات البكتيرية الحية وحالة الجروح المقطوعة للفئران المصابة بالسكري. أظهرت النتائج أن جهد النبض ومدة التعرض والمضادات الحيوية كان لها تأثير كبير على نمو بكتيريا الزائفة الزنجارية. وتسريع التئام الجروح في الفئران المصابة بالسكري. أثبت جهد النبض 80 فولت مع مدة التعرض 15 دقيقة أنه الأكثر فعالية في قتل بكتيريا الزائفة الزنجارية. مع انخفاض في عدد البكتيريا يصل إلى 87.9%، وأظهرت الجروح على الفئران انكماشاً وإغلاقاً مع انخفاض متوسط طول الجرح من 1 cm إلى $0.4 \pm$ cm.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beberapa tantangan kesehatan global yang sering dihadapi masyarakat akhir-akhir ini melibatkan beragam jenis penyakit. Salah satu isu kesehatan terkini adalah Penyakit Tidak Menular (PTM), termasuk masalah obesitas, hipertensi, dan Diabetes Mellitus (Sukmawati et al., 2019). Saat ini, Diabetes Mellitus (DM) menjadi perhatian kesehatan global karena insidennya terus meningkat, menjadi keluhan umum di seluruh dunia. Menurut *International Diabetes Federation*, di seluruh dunia, terjadi peningkatan yang signifikan dalam prevalensi diabetes mellitus pada kelompok usia 20-79 tahun, melonjak dari 151 juta kasus pada tahun 2000 menjadi 537 juta kasus pada tahun 2021. Fakta ini mencerminkan bahwa satu dari sepuluh individu hidup dengan diabetes. Proyeksi menunjukkan bahwa tingkat prevalensi ini akan terus bertambah, dengan perkiraan mencapai 783 juta pada tahun 2045, setara dengan 12,2% dari populasi (IDF, 2021). Indonesia menempati peringkat kelima di dunia setelah China, India, Pakistan, dan Amerika Serikat dalam hal prevalensi kasus diabetes mellitus pada kelompok usia 20-79 tahun, dengan jumlah mencapai 19,5 juta. Diabetes merupakan penyebab kematian tertinggi ketiga di Indonesia (Infodatin, 2020).

Diabetes Melitus (DM) adalah penyakit kronis serius yang terjadi karena pankreas tidak menghasilkan cukup insulin (hormon yang mengatur glukosa atau gula darah), atau ketika tubuh tidak dapat secara efektif menggunakan insulin yang dihasilkannya. (WHO, 2016). Diabetes melitus merupakan suatu kumpulan gejala disebabkan kadar glukosa darah yang meningkat akibat penurunan sekresi insulin

yang progresif (ADA, 2017).

Diabetes adalah kondisi medis yang disebabkan oleh tingginya kadar gula darah dalam tubuh. Ada beberapa faktor yang dapat memicu terjadinya diabetes, seperti faktor keturunan, kadar gula darah yang tinggi, usia, berat badan berlebih, dan faktor lingkungan yang lainnya (Fadhillah et al., 2022). Tingginya kadar gula darah dalam tubuh sering dipicu oleh pola makan yang tidak sehat. Pada dasarnya semua jenis makanan dan minuman tergolong aman dikonsumsi asalkan dalam porsi yang tepat. Namun jika dikonsumsi berlebihan dapat meningkatkan resiko penyakit tertentu seperti diabetes. Seperti pada ayat yang tertera dalam Al-Qur'an surat Al-An'am ayat 141:

وَلَا تُسْرِفُوا ۚ إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ (١٤١)

Artinya: "... dan janganlah kamu berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang yang berlebih-lebihan" (Q.S Al-An'am (6): 141).

Dalam surat Al-An'am ayat 141 dijelaskan bahwa *dan jangan kamu berlebih-lebihan* dalam segala hal, baik menggunakan sesuatu, memberi, atau menerima yang tidak tepat. Allah tidak menyukai, tidak merestui, dan tidak memberikan anugerah kepada orang-orang yang berlebihan, karena tidak ada kebaikan dalam pemborosan, apapun bentuknya, bahkan dalam hal yang baik sekalipun (Shihab, 2009). Oleh karena itu, sebagai manusia tidak boleh berlebihan dalam segala hal salah satunya berkaitan dengan makan. Makan yang berlebihan dapat mengakibatkan berbagai masalah kesehatan, termasuk diabetes, yang merupakan salah satu konsekuensi dari perilaku yang tidak bijak dalam mengatur pola makan dan memilih makanan yang baik serta halal.

Perintah mengenai makan dan minum yang baik serta halal dijelaskan dalam Al-Qur'an surat An-Nahl ayat 114:

فَكُلُوا مِمَّا رَزَقَكُمُ اللَّهُ حَلَالًا طَيِّبًا وَاشْكُرُوا نِعْمَتَ اللَّهِ إِنَّ كُنتُمْ لَإِيَّاهُ تَعْبُدُونَ (١١٤)

Artinya: “Maka makanlah yang halal lagi baik dari rezeki yang telah diberikan Allah kepadamu, dan syukurilah nikmat Allah, jika kamu hanya kepada-Nya saja menyembah” (Q.S Al-Nahl (16): 114).

Dalam surat An-Nahl ayat 114 dijelaskan bahwa *makanlah* sebagian dari apa yang *direzekikan*, yakni dianugerahkan, *oleh Allah kepada kamu* antara lain yang telah disebut pada ayat-ayat sebelumnya. *Makanlah* itu dalam keadaan *halal lagi baik*, bergizi dan lezat serta memiliki efek positif terhadap kesehatan; dan *syukurilah nikmat Allah* agar kamu tidak mengalami hal yang dialami oleh negeri-negeri sebelumnya *jika kamu hanya kepada-Nya saja menyembah* (Shihab, 2009). Dalam surat tersebut mengajarkan kita sebagai manusia untuk makan makanan yang halal dan baik serta bersyukur atas nikmat yang diberikan Allah. Memilih makanan yang sehat untuk mencegah masalah kesehatan seperti diabetes. Dengan mengikuti ajaran ini, kita dapat menghindari makan berlebihan, yang bisa menyebabkan diabetes, dan menjaga kesehatan dengan mengonsumsi makanan bergizi dan seimbang.

Diabetes yang tidak terkontrol dengan baik dapat menyebabkan komplikasi baik akut maupun kronis. Menurut PERKENI komplikasi yang muncul akibat Diabetes Melitus meliputi gangguan pada pembuluh darah, baik makrovaskular maupun mikrovaskular, serta gangguan pada sistem saraf yang dikenal sebagai neuropati. Dalam kasus neuropati perifer, hilangnya sensasi pada area distal menjadi faktor utama yang meningkatkan risiko terjadinya ulkus kaki (PERKENI,

2021). Luka kaki diabetik sering terjadi pada individu dengan diabetes karena adanya gangguan sirkulasi darah di kaki, masalah pada sistem persyarafan, serta infeksi yang disebabkan oleh penurunan sistem kekebalan tubuh (Kusmaningrum et al., 2016).

Kasus ulkus diabetikum semakin banyak sejalan dengan pertambahan orang yang menderita diabetes mellitus, dengan angka global sekitar 4-10% (Rais et al., 2017). Morbiditas dan mortalitas pada penderita ulkus diabetik cenderung meningkat dengan amputasi, sekitar 15-40% per tahun dan 39-85% setiap 5 tahun. (Bilous et al., 2015). Penyebab amputasi terbanyak pada pasien diabetes adalah iskemik (50-70%) dan infeksi (30-50%).

Luka terbuka pada ulkus diabetik adalah pintu masuk patogen, dan hiperglikemia merangsang pertumbuhan bakteri dalam jumlah besar. Menurut hasil penelitian, bakteri penyebab luka diabetes yang paling sering ditemukan adalah *S. aureus* (77,3%) diikuti *S. epidermidis* (19,3%), *E. coli* (13,6%), dan *P. aeruginosa* (15,9%) (Saleh et al., 2019). Setiap individu memiliki hasil bakteri yang tidak sama. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi pertumbuhan bakteri, misalnya kondisi imunokompemis seseorang, iklim dan lingkungan yang sesuai dengan pH, suhu, dan aerasi yang dibutuhkan bakteri patogen untuk berkembang (Levinson, 2016).

Ulkus kaki diabetik adalah komplikasi yang mengancam seumur hidup bagi 15-25% orang yang menderita diabetes, dan 40-80% di antaranya akan mengalami infeksi yang sangat parah hingga menyebar ke tulang, menyebabkan osteomielitis (Geraghty et al., 2019). Orang yang menderita diabetes mengalami kesulitan dalam merawat luka karena tumbuhnya bakteri aerob dan anaerob salah satunya seperti *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) (Alsaimary, 2010). Oleh karena itu, perlu

dilakukan upaya untuk mengurangi terjadinya infeksi pada luka agar proses penyembuhan dapat berjalan lebih cepat.

Kemampuan stimulasi listrik untuk mempengaruhi aktivitas bakteri telah diamati oleh banyak peneliti. Menurut laporan, protein flagela dapat terpengaruh oleh stimulasi listrik dan mengalami kerusakan pada flagela, yang mengurangi kemampuan bakteri untuk bergerak (Berthelot et al., 2017). Arus listrik dalam mikroampere juga dapat merusak membran sel bakteri dan memungkinkan bakteri bisa ditembus oleh Propidium iodida (Krishnamurthi et al., 2020). Dengan demikian, pengobatan luka pada pasien yang menderita diabetes dapat dipercepat menggunakan stimulasi listrik dengan efek samping yang lebih rendah. Selain itu, penggunaan stimulasi listrik juga dapat menekan pertumbuhan bakteri penyebab infeksi, memperbaiki aliran darah di daerah luka, dan memperbaiki proses penyembuhan luka (Thakral et al., 2013). Penggunaan stimulasi listrik mudah dan aman digunakan, mengurangi infeksi, dan memperbaiki aliran darah di daerah luka (ud-Din et al., 2014).

Menurut Gusmao (2010), Rowlwy dan rekannya telah membuktikan bahwa stimulasi arus listrik memiliki efek statis pada bakteri. Bahan yang memiliki hambatan lebih dari nol akan mengalami efek termal akibat stimulasi listrik sesuai dengan hukum Joule. Selain itu, elektrolisis terjadi ketika muatan listrik melintasi membran sel bakteri, yang dapat menyebabkan kerusakan pada membran sel tersebut (Gusmao et al., 2010).

Penggunaan antibiotik yang luas dan tidak rasional dapat memicu resistensi antibiotik dan menyebabkan superinfeksi. Ketidakberhasilan dalam penggunaan antibiotik mendorong sebagian masyarakat untuk beralih ke obat-obatan alami yang

dianggap lebih aman dan efektif dibandingkan obat kimia. Hal ini diperkuat oleh meningkatnya penelitian yang bertujuan menemukan obat baru berbasis bahan alami efektif melawan bakteri (Siregar, 2020).

Stimulasi arus listrik dan penggunaan antibiotik adalah dua strategi yang dapat diterapkan untuk mempercepat penyembuhan luka. Stimulasi arus listrik terbukti dapat merangsang regenerasi jaringan dan meningkatkan aliran darah ke area luka, sementara antibiotik efektif dalam menghambat pertumbuhan atau membunuh sel bakteri sehingga infeksi bakteri dapat teratasi. Meskipun demikian, belum ada penelitian yang secara spesifik menyelidiki bagaimana kedua metode tersebut dapat bekerja bersinergi untuk penyembuhan luka pada penderita diabetes. Dengan menggabungkan kedua pendekatan ini, peneliti berharap dapat menemukan solusi inovatif yang dapat meningkatkan efektivitas pengobatan, mempercepat proses penyembuhan luka pada pasien diabetes, dan mengurangi risiko infeksi bakteri yang dapat memperburuk kondisi luka. Bakteri yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Pseudomonas aeruginosa* untuk melihat pertumbuhan bakteri tersebut pada luka diabetes yang diberi stimulasi listrik dan antibiotik. Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, penelitian ini dilakukan dengan judul “**Efek Stimulasi Arus Listrik dan Antibiotik Terhadap Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* Pada Luka Mencit (*Mus mucullus*) Diabetes Mellitus**”.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh tegangan pulsa stimulasi listrik dan antibiotik terhadap pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* pada luka penderita Diabetes Mellitus?

2. Bagaimana pengaruh waktu stimulasi listrik dan antibiotik terhadap pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* pada luka penderita Diabetes Melitus?
3. Bagaimana pengaruh stimulasi listrik dan antibiotik terhadap kondisi perkembangan luka mencit penderita Diabetes Melitus secara deskriptif?

1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui pengaruh tegangan pulsa stimulasi listrik dan antibiotik terhadap pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* pada luka penderita Diabetes Melitus.
2. Untuk mengetahui pengaruh waktu stimulasi listrik dan antibiotik terhadap pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* pada luka penderita Diabetes Melitus.
3. Untuk mengetahui pengaruh stimulasi listrik dan antibiotik terhadap kondisi perkembangan luka mencit penderita Diabetes Melitus secara deskriptif.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk memberikan kontribusi signifikan terhadap pemahaman teoritis terkait pengobatan luka pada penderita Diabetes Mellitus. Dengan mengeksplorasi efek dari stimulasi listrik dan antibiotik terhadap pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa*, penelitian ini dapat membuka wawasan baru terkait interaksi antara metode stimulasi dan penggunaan antibiotik dalam konteks penyembuhan luka. Serta dapat membantu dalam pengembangan metode pengobatan luka pada pasien diabetes yang lebih efektif.

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, diperlukan batasan masalah untuk memperjelas ruang lingkup yang akan dibahas dalam penelitian ini. Adapun batasan masalah sebagai berikut:

1. Objek penelitian ini adalah mencit (*Mus musculus*) yang telah mengalami diabetes akibat induksi Aloksan Monohidrat dengan dosis yang telah ditentukan.
2. Jenis bakteri yang digunakan dalam penelitian ini hanya bakteri *Pseudomonas aeruginosa*.
3. Fokus penelitian adalah pada jumlah bakteri *Pseudomonas aeruginosa* yang masih hidup di kulit sapi setelah dilakukan stimulasi listrik dan pemberian antibiotik, serta pada kondisi luka mencit penderita diabetes setelah distimulasi listrik dan pemberian antibiotik.
4. Antibiotik yang digunakan adalah antibiotik alami berupa biokatan dengan konsentrasi dosis yang sama pada setiap sampel.
5. Sampel yang diambil untuk preparat histopatologi hanya satu dari setiap kelompok.
6. Jaringan yang diamati pada preparat histopatologi hanya fibroblast dan makrofag.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Stimulasi Listrik

2.1.1 Elektrostimulator

Elektrostimulator adalah sebuah alat yang menghasilkan sejumlah sinyal listrik kecil dan mengarahkannya ke dalam tubuh melalui elektroda yang ditempatkan di permukaan kulit dekat dengan daerah yang mengalami rasa sakit atau di atasnya. Elektrostimulator merupakan sebuah perangkat elektronik yang menghasilkan gelombang listrik dengan karakteristik tertentu, seperti bentuk gelombang, amplitudo, frekuensi, dan lebar pulsa. Perangkat ini dirancang untuk digunakan dalam merangsang respon tubuh manusia.



Gambar 2.1 Elektrostimulator

Amplitudo merujuk pada besaran tegangan puncak yang diberikan oleh setiap pulsa, sementara lebar pulsa adalah durasi stimulasi pada setiap siklus; keduanya berperan dalam menghasilkan jumlah aliran ion yang diperlukan untuk memicu potensial aksi, yang pada gilirannya mengontrol kekuatan kontraksi otot (Hutomo et al., 2019).

Parameter pada elektrostimulator harus diatur sedemikian rupa agar mampu menghasilkan rangsangan yaitu: (Astuti, 2015).

- a. Lebar pulsa (s) bernilai kecil, karena semakin kecil nilai s maka akan tidak terasa sakit.
- b. Tegangan stimulasi puncak (V_p) minimal antara 0-200 volt, berdasarkan penelitian apabila nilai V_p semakin besar, maka rangsangan akan semakin cepat.
- c. Frekuensi maksimal 20 Hz.

2.1.2 Arus Listrik

Arus listrik didefinisikan sebagai aliran muatan listrik. Arus listrik mengukur banyaknya muatan listrik yang mengalir per satuan waktu. Jika dalam selang waktu Δt jumlah muatan listrik yang mengalir adalah ΔQ , maka besar arus listrik didefinisikan sebagai:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (2.1)$$

Satuan muatan listrik adalah *Coulomb* dan disingkat C. Satuan arus listrik adalah *Ampere* dan disingkat A. Oleh karena itu, 1 ampere = 1 coulomb/detik.

Dalam muatan listrik, terdapat muatan positif dan negatif. Arah arus listrik didefinisikan searah dengan arah aliran muatan positif. Pada logam-logam, elektron-elektron yang memiliki muatan negatif yang mengalir. Muatan positif berupa atom-atom yang ditinggalkan elektron tidak dapat mengalir karena terikat kuat membangun logam tersebut. Mengingat definisi arus listrik searah dengan aliran muatan positif, maka arah arus listrik dalam logam berlawanan dengan arah aliran elektron. Jadi, ketika menggambar arah arus dalam kawat dari kanan ke kiri, sebenarnya yang terjadi adalah aliran elektron dari kiri ke kanan.

Muatan listrik dapat mengalir dari satu tempat ke tempat lain karena adanya beda potensial listrik. Ketika terdapat perbedaan potensial listrik, muatan listrik

pada tempat yang memiliki potensial tinggi akan mengalir ke tempat yang memiliki potensial rendah. Besar arus listrik yang mengalir berbanding lurus dengan beda potensial listrik, V , antara dua tempat, atau $I \propto V$. Kesebandingan di atas dapat ditulis:

$$I = \frac{1}{R} V \quad (2.2)$$

dengan V adalah beda potensial antara dua titik, dan R adalah hambatan listrik antara dua titik dengan satuan Ohm dan disingkat sebagai Ω . Hambatan listrik berperan menghambat aliran muatan listrik. Semakin besar nilai hambatan listrik, semakin sulit arus listrik mengalir, yang ditandai dengan arus yang semakin kecil. Persamaan (2.2) yang menggambarkan hubungan antara hambatan listrik, arus listrik, dan beda potensial dinamakan hukum Ohm. Simbol untuk hambatan listrik dapat dilihat pada Gambar 2.2 (Mikrajuddin, 2017).



Gambar 2.2 Simbol Hambatan Listrik

Arus listrik adalah jumlah muatan yang mengalir melalui penghantar dalam dalam tiap satuan waktu. Arus listrik terjadi karena adanya beda potensial (tegangan) antara kutub positif dan negatif. Beda potensial ini mendorong pergerakan elektron atau aliran elektron-elektron melalui penghantar dari kutub negatif ke kutub positif. Arus listrik mengalir dari kutub positif ke kutub negatif bila rangkaian dalam keadaan tertutup, sebaliknya arus listrik tidak dapat mengalir bila rangkaian dalam keadaan terbuka (Ponto, 2018).

Terdapat dua jenis arus listrik yang dihasilkan berdasarkan sumber arus listrik yaitu arus listrik searah (DC) dan arus listrik bolak-balik (AC). Arus searah

(DC) adalah arus listrik yang mengalir dalam satu arah saja, baik itu positif atau negatif. Sementara itu, arus bolak-balik (AC) adalah arus listrik yang mengalir dengan arah yang berubah-ubah dari positif ke negatif atau sebaliknya (Ponto, 2018).

2.2 Antibiotik

Antibiotik adalah obat yang digunakan dalam pengobatan penyakit akibat infeksi bakteri. Antibiotik dapat dihasilkan oleh mikroorganisme, terutama jamur, atau dibuat secara sintesis dengan mekanisme kerja yang menghambat atau membunuh bakteri penyebab infeksi. Seiring perkembangan ilmu pengetahuan, antibiotik kini juga dapat diperoleh dari ekstrak tumbuhan dan hewan (Muntasir et al., 2021). Secara umum, mekanisme kerja antibiotik pada sel bakteri mencakup beberapa cara, antara lain menghambat pembentukan dinding sel bakteri, mengganggu fungsi membran plasma, menghambat sintesis asam nukleat, menghambat sintesis protein melalui penghambatan pada tahap translasi dan transkripsi materi genetik, serta mengganggu metabolisme folat (Soleha, 2015).

Penggunaan antibiotik yang luas dan tidak rasional dapat memicu resistensi antibiotik dan menyebabkan superinfeksi. Ketidakberhasilan dalam penggunaan antibiotik mendorong sebagian masyarakat untuk beralih ke obat-obatan alami yang dianggap lebih aman dan efektif dibandingkan obat kimia. Hal ini diperkuat oleh meningkatnya penelitian yang bertujuan menemukan obat baru berbasis bahan alami efektif melawan bakteri (Siregar, 2020). Kemajuan pesat dalam penelitian obat berbasis tanaman telah mengidentifikasi banyak tanaman tradisional Indonesia yang berpotensi sebagai antibakteri, termasuk daun mimba (*Azadirachta indica*). Beberapa studi seperti yang dilakukan oleh Wai (2020), Ar Rahmah (2021), Sayekti

(2016), dan lainnya, menunjukkan bahwa daun mimba memiliki khasiat antibakteri yang dapat mempercepat penyembuhan luka. Daun mimba mengandung berbagai senyawa seperti alkaloid, steroid, saponin, tanin, dan flavonoid.

Di dalam Al-Qur'an disebutkan bahwa Allah telah menciptakan berbagai jenis tumbuhan dengan sempurna, yang mengandung banyak manfaat. Penjelasan ini terdapat dalam Al-Qur'an surah Asy-Syu'ara' ayat 7:

أَوَلَمْ يَرَوْا إِلَى الْأَرْضِ كَمْ أَنْبَتْنَا فِيهَا مِنْ كُلِّ زَوْجٍ كَرِيمٍ (٧)

Artinya: “Apakah mereka tidak memperhatikan bumi, betapa banyak Kami telah menumbuhkan di sana segala jenis (tanaman) yang tumbuh baik?” (Q.S Asy-Syu'ara':7).

Ayat tersebut menjelaskan bahwa terdapat banyak sekali jenis tumbuh-tumbuhan, dengan variasi mencapai sekitar 320 ribu spesies. Sebagian dari tumbuhan tersebut memiliki manfaat, baik sebagai pemandangan atau kegunaan khusus. Terdapat perbedaan pandangan di antara manusia, namun secara umum tumbuhan membantu makhluk lain di bumi. Setiap tumbuhan memiliki manfaat, beberapa diantaranya berfungsi sebagai obat, sementara yang lain menjadi sumber makanan (Jauhari, 2004). Salah satunya adalah daun mimba (*Azadirachta indica*) yang bermanfaat dalam penyembuhan luka.

2.3 Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*

2.3.1 Morfologi

Pseudomonas aeruginosa merupakan bakteri Gram negatif berbentuk batang yang memiliki kemampuan membentuk biofilm pada media kultur dan substrat yang diikatnya (Wahyudi et al., 2019 dan Khoiriah, 2021). *Pseudomonas aeruginosa* memiliki bentuk batang dengan ukuran sekitar 0,6 x μm . Bakteri ini muncul sebagai sel tunggal, berpasangan, dan kadang-kadang membentuk rantai

pendek. Bakteri ini bersifat aerobik, positif katalase, positif oksidase, tidak dapat memfermentasi tetapi mampu mengoksidasi glukosa dan karbohidrat lainnya. Bakteri ini tidak berspora, tidak memiliki selubung (sheat), dan memiliki flagel monotrika (flagel tunggal di satu kutub), yang memungkinkan bakteri ini selalu bergerak

Bakteri ini dapat tumbuh di air suling dan berkembang dengan baik jika terdapat unsur nitrogen dan karbon. Suhu optimum untuk pertumbuhan *Pseudomonas aeruginosa* adalah 42 °C. Bakteri ini mudah tumbuh di berbagai media kultur karena kebutuhan nutrisinya yang sederhana. Dalam laboratorium, media paling sederhana untuk pertumbuhannya menggunakan asetat sebagai bahan karbon ammonium sulfat sebagai sumber nitrogen (Yoyon et al., 2011).

Klasifikasi *Pseudomonas aeruginosa* sebagai berikut (Panayidou et al., 2017):

Kingdom : *Bacteria*
Kelas : *Gammaproteobacteria*
Ordo : *Pseudomonadales*
Famili : *Pseudomonadaceae*
Genus : *Pseudomonas*
Spesies : *Pseudomonas aeruginosa*



Gambar 2.3 Bentuk Mikroskopik *Pseudomonas aeruginosa*

2.3.2 Patogenesis

Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* umumnya menyebabkan infeksi pada individu dengan gangguan sistem imun. Bakteri ini juga berperan sebagai patogen di area dengan pertahanan yang lemah, seperti pada kulit yang terluka atau pada pasien yang menjalani kemoterapi kanker. Bakteri ini dapat melekat dan membentuk koloni pada mukosa atau kulit, menyebabkan infeksi. Infeksi oleh bakteri ini pada kulit dapat menghasilkan nanah berwarna hijau kebiruan (Sulviana et al., 2016). Orang yang menderita diabetes mengalami kesulitan dalam merawat luka karena tumbuhnya bakteri salah satunya *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) (Alsaimary, 2010).

2.4 Diabetes Mellitus

Menurut American Diabetes Association (ADA), diabetes melitus merupakan sekelompok penyakit metabolik yang ditandai oleh hiperglikemia, yang disebabkan oleh gangguan sekresi insulin, fungsi insulin, atau keduanya (PERKENI, 2019). Diabetes Melitus (DM) terjadi akibat gangguan metabolisme pada pankreas, yang ditandai oleh peningkatan kadar gula darah atau hiperglikemia, yang disebabkan oleh penurunan jumlah insulin yang diproduksi pankreas. Penyakit DM dapat menimbulkan berbagai komplikasi, baik yang bersifat makrovaskuler maupun mikrovaskuler (Lestari et al., 2021).

Diabetes adalah suatu penyakit kronis yang membutuhkan perawatan medis berkelanjutan dengan strategi pengurangan risiko multifaktorial yang tidak dapat dikendalikan oleh gula darah. Menurut PERKENI (2015), seseorang dapat didiagnosis menderita diabetes mellitus apabila memiliki keluhan tanda dan gejala

klasik seperti poliuria, polidipsi, dan polifagi dengan disertai nilai kadar gula darah sewaktu ≥ 200 mg/dl dan gula darah puasa ≥ 126 mg/dl.

Komplikasi yang paling umum terjadi pada penderita diabetes adalah luka kaki diabetik. Ulkus diabetikum adalah kerusakan pada area kulit, baik sebagian (Partial Thickness) maupun keseluruhan (Full Thickness), yang menyebar hingga jaringan di bawah kulit, tendon, otot, tulang, atau sendi pada penderita diabetes melitus. kondisi ini muncul akibat tingginya kadar gula darah. Jika ulkus kaki berlangsung lama tanpa penanganan dan tidak sembuh, luka tersebut dapat terinfeksi (Wulan et al., 2024).

Ulkus diabetikum merupakan luka terbuka pada permukaan kulit yang terjadi akibat komplikasi mikroangiopati dan makroangiopati, yang menyebabkan insufisiensi vaskular serta neuropati. Pada kondisi yang lebih lanjut, luka ini dapat berkembang tanpa disadari oleh pasien, sehingga memungkinkan terjadinya infeksi yang disebabkan oleh bakteri aerob maupun anaerob (Marissa et al., 2017).

2.5 Efek Energi Listrik terhadap Bakteri

2.5.1 Efek Termal

Kulit atau organ lain dalam tubuh manusia terdiri dari sel-sel. Setiap sel memiliki resistansi, kapasitansi, dan konduktansi listrik. Karena sifat resistif dan kapasitif tersebut, ketika arus listrik mengalir, terjadi konversi energi listrik menjadi energi panas. Jika dua titik di tubuh dihubungkan ke sumber arus dengan beda potensial V dan arus yang mengalir sebesar I , maka energi listrik yang dialirkan dalam waktu t adalah:

$$E = V \cdot i \cdot t \quad (2.4)$$

Dimana E menyatakan energi listrik (J), V menyatakan beda potensial (V), i menyatakan arus listrik (A), dan t menyatakan waktu (s).

Jika hambatan pada bagian tubuh yang dilalui arus listrik adalah R , maka V dapat dinyatakan sebagai $V = i \cdot R$ atau energi listriknya menjadi:

$$W = i^2 \cdot R \cdot t \quad (2.5)$$

Persamaan (2.5) dapat diartikan bahwa semakin besar arus yang mengalir, maka semakin besar pula energi listrik yang dihasilkan.

Di dalam tubuh, arus listrik dapat membangkitkan energi panas yang dihasilkan dari tumbukan antara atom-atom pada sel tubuh sehingga suhu pada sel tubuh meningkat. Besar energi panas yang dihasilkan sebanding dengan energi listrik yang dialirkan, yaitu (Diehr, 2014):

$$Q = i^2 \cdot R \cdot t \quad (2.6)$$

Dalam daerah sekitar arus listrik, panas dapat menyebar ke lingkungan sekitarnya. Jika bakteri berada di daerah luka, maka panas dapat menyebar ke bakteri dan menyebabkan perubahan suhu. Perubahan suhu yang terjadi pada bakteri sebanding dengan kapasitas panas sel bakteri dan massa bakteri, dinyatakan sebagai:

$$\Delta T = \frac{Q}{m C} \quad (2.7)$$

Substitusi persamaan (2.6) ke persamaan (2.7), maka diperoleh:

$$\Delta T = \frac{i^2 R t}{m C} \quad (2.8)$$

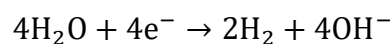
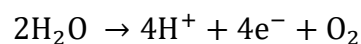
Jika m , C , dan R dianggap konstan, maka perubahan suhu tergantung pada perubahan arus i dan waktu t . Jika suhu bakteri melebihi batas toleransi pertumbuhannya, maka bakteri tersebut akan mati. Kecepatan kematian bakteri tergantung pada kekuatan arus listrik yang dialirkan.

2.5.2 Elektrolisis

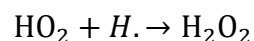
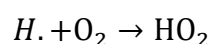
Elektrolisis adalah proses kimia yang terjadi ketika arus listrik mengalir melalui elektrolit. Elektrolit adalah zat yang dapat menghantarkan listrik dan biasanya larut dalam pelarut polar seperti air. Ketika elektrolit terdisosiasi, ion-ion positif (kation-kation) dan ion-ion negatif (anion-anion) terbentuk. Ion negatif disebut anion ketika tertarik ke muatan positif pada anoda, sedangkan ion positif disebut katoda karena tertarik ke muatan negatif pada katoda (Isana, 2010).

Elektrolisis adalah proses dimana arus listrik menguraikan suatu zat elektrolit, yang berarti dalam proses ini energi listrik diubah menjadi energi kimia melalui reaksi redoks. Dalam sel elektrolisis, reaksi kimia terjadi ketika arus listrik dialirkan melalui elektrolit, yang mengubah energi listrik menjadi energi kimia melalui reaksi redoks. Tiga faktor utama yang mempengaruhi proses elektrolisis adalah larutan elektrolit, sumber arus listrik searah (DC), dan elektroda (Fitriyanti, 2021).

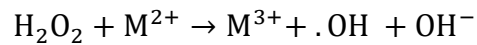
Akibat dari arus listrik yang mengalir melalui membran sel bakteri adalah pergeseran muatan pada membran sel. Pada proses elektrolisis akan terjadi reaksi (Riyanto & Agustiningsih, 2018).



Pembentukan atom hidrogen (H) adalah salah satu tahapan transisi pembentukan molekul hidrogen pada reaksi reduksi katodik melalui reaksi berikut:



Dalam hal ini, elektroda logam (M) dapat memicu hidrogen peroksida untuk berperan dalam menghasilkan hidroksil reaksi radikal:



Konsentrasi hidrogen peroksida yang dihasilkan selama proses elektrolisis tidak terlalu tinggi, tetapi dapat merusak dinding sel bakteri. Hidrogen peroksida terbentuk dalam bakteri dan bereaksi dengan kelompok bermuatan negatif pada protein, sehingga menonaktifkan sistem enzim (Riyanto & Agustiningsih, 2018).

2.6 Efek Stimulasi Listrik terhadap Penyembuhan Luka

Terapi stimulasi arus listrik memiliki dampak positif terhadap proses penyembuhan luka, di mana pemulihan pembuluh darah dan pembentukan jaringan fibrosa dapat dipercepat hingga dua kali lipat dibandingkan dengan pengobatan tanpa perlakuan. Durasi pemberian stimulasi arus listrik memiliki pengaruh terhadap kemajuan penyembuhan luka, yang dapat berkurang atau bertambah tergantung pada kondisi spesifik luka. Ketika luka semakin membaik, durasi stimulasi arus listrik dapat dikurangi. Sebaliknya, jika terjadi infeksi pada luka, durasi pemberian stimulasi arus listrik dapat meningkat (Rahmawati et al., 2009).

Penggunaan arus listrik dalam memfasilitasi penyembuhan jaringan telah menjadi fokus studi dan implementasi, seiring dengan penemuan adanya arus yang dihasilkan selama proses cedera. Arus yang timbul dari luka tersebut cenderung mengalami penurunan intensitas seiring berjalannya waktu, dan penurunan ini berkaitan dengan tingkat penyembuhan yang lebih tinggi dalam jaringan. Oleh karena itu, penerapan arus listrik secara eksternal telah dikembangkan untuk mendukung serta merangsang tahap perbaikan dan regenerasi (Balakatounis, 2011). Stimulasi listrik terkait dengan mobilisasi neutrofil dan makrofag ke lokasi luka,

yang merupakan elemen kunci dalam fase peradangan. Neutrofil dan makrofag memainkan peran penting dalam menjaga luka dari infeksi, dengan makrofag juga berperan dalam mengatur proses penyembuhan melalui produksi sikotin dan faktor pertumbuhan. Pembentukan jaringan granulasi yang fungsional bergantung pada proliferasi fibroblas dan sel endotel, diikuti oleh produksi matriks ekstraseluler yang mendorong migrasi keratinosit dan pembentukan kapiler. Seluruh proses ini mendukung penyembuhan dengan menyediakan suplai nutrisi dan oksigen yang memadai. Rangsangan listrik meningkatkan proliferasi dan sintesis protein fibroblas serta pembentukan kolagen. Penelitian oleh Brown dan Gogia pada tahun 1987 mengungkapkan bahwa efek fibroblas terhadap jaringan granulasi dapat menyebabkan kontraksi luka, mendukung proses penutupan luka (Cutting, 2006).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimental yang bertujuan untuk mengumpulkan data pengamatan mengenai dampak stimulasi listrik dan antibiotik terhadap pengurangan jumlah koloni bakteri *Pseudomonas aeruginosa* pada kulit sapi, serta pengaruh stimulasi listrik dan antibiotik terhadap penyembuhan luka pada mencit (*Mus Musculus*) yang menderita diabetes melitus. Penelitian ini dilakukan sebagai upaya untuk menemukan alternatif dalam pengobatan luka pada penderita diabetes melitus.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Februari - Juli tahun 2024 di Laboratorium Biofisika Program Studi Fisika, Laboratorium Fisiologi Hewan dan Laboratorium Hewan Coba Program Studi Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.3 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini mencakup: Elektrostimulator, 1 unit LAF (*Laminar Air Flow*), 1 buah *Vortex mixer*, 1 buah Mikropipet, 1 buah jarum ose, 27 buah cawan petri, 2 buah Erlenmeyer 250 ml, 1 buah Bunsen, 1 buah Timbangan analitik, 1 buah Hot plate, 1 buah *Bar magnetic stirrer*, 1 buah Inkubator, 1 buah Aluminium foil, 1 buah Korek api, 1 buah Gelas ukur 10 ml, 100 buah *Blue tip*, 1 buah pinset, 2 buah *Beaker glass* 500 ml, 80 buah Botol flakon, 1 buah Autoklaf, 2 buah botol semprot, 1 buah Colony counter, 1 buah Spatula, tisu,

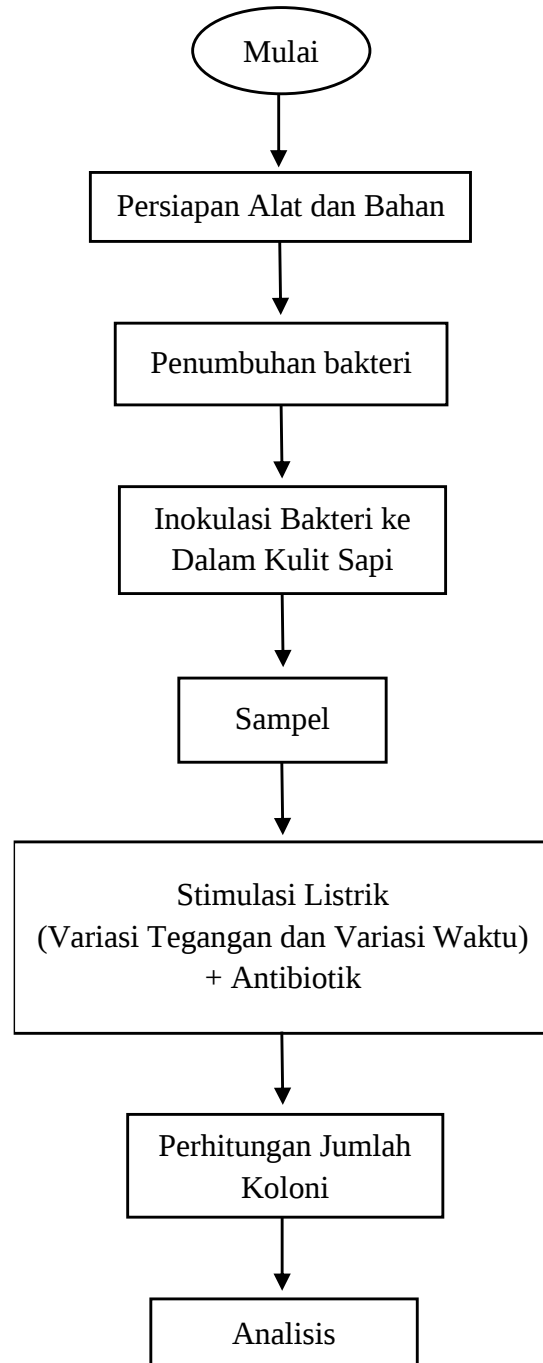
kapas, 20 buah jarum suntik 1 ml, 1 buah penggaris, Mikroskop cahaya (*Olympus Cx-23*), kamera OptiLab, Glukometer, strip glukotest, dan 4 buah silet.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini mencakup: bakteri *Pseudomonas aeruginosa*, Mencit (*Mus Muculus*), Media NA (Nutrien Agar), Antibiotik Alami Biokatan, Kulit sapi, Alkohol 70%, Aquades, NaCl 0,9%, Spiritus, Aloksan Monohidrat, dan Anestesi Lidocaine HCL 2%.

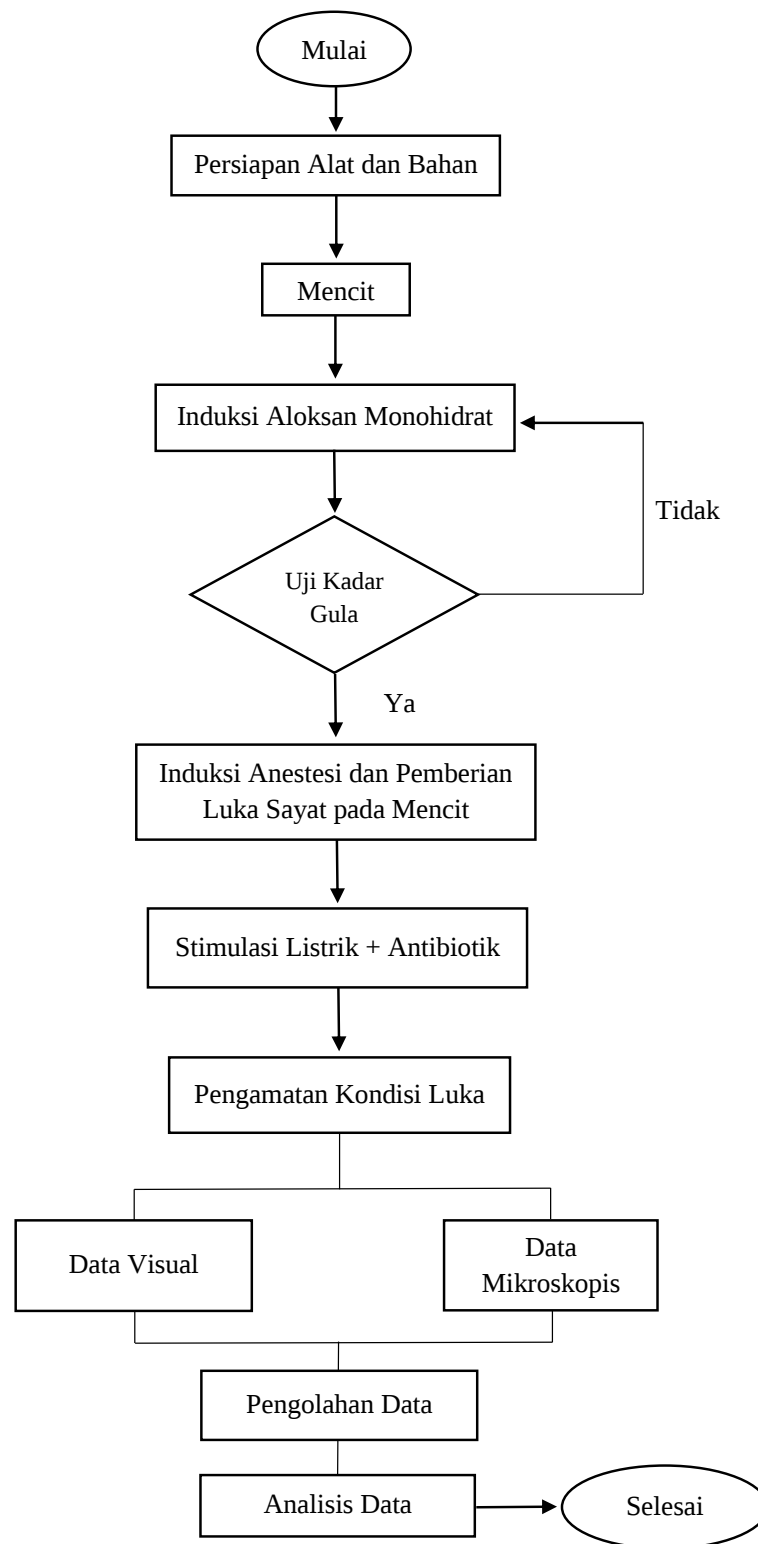
3.4 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen laboratorium. Sampel yang digunakan adalah bakteri *Pseudomonas aeruginosa*, yang dipilih karena bakteri ini umum ditemukan pada luka penderita diabetes. Penonaktifan bakteri *Pseudomonas aeruginosa*, dilakukan menggunakan elektrostimulator atau stimulasi listrik dan antibiotik alami berupa Biokatan. Stimulasi listrik diberikan dengan variasi tegangan berpulsa dan durasi pemberian. Kemudian antibiotik diberikan dengan cara ditetes. Menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari dua faktor perlakuan yaitu stimulasi listrik dan antibiotik. Mencit akan dikelompokkan ke dalam beberapa perlakuan sesuai dengan kombinasi kedua faktor tersebut. Variabel dalam penelitian ini yang diukur mencakup jumlah bakteri yang masih hidup di kulit sapi dan kondisi luka sayat pada mencit yang menderita diabetes. Jumlah bakteri yang masih hidup akan dihitung dengan menggunakan *colony counter*. Pada proses penyembuhan luka, objek yang digunakan adalah mencit (*Mus mucus*) yang diaklimatisasi selama 7 hari sebelum perlakuan. Setelah itu, diinduksi aloksan monohidrat dengan dosis yang sudah ditentukan. Setelah 72 jam, diukur kadar gula mencit dengan glukometer. Jika dinyatakan mengalami diabetes maka mencit diinduksi anestesi dan diberi luka sayat sepanjang 1 cm. kemudian,

diberi stimulasi listrik dan antibiotik selama 7 hari. Perkembangan luka diamati setiap hari. Untuk gambaran lengkap mekanisme pelaksanaan dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penonaktifan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*



Gambar 3.2 Diagram Alir Pemberian Stimulasi Listrik dan Antibiotik pada Luka Mencit

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Bakteri

3.5.1.1 Sterilisasi

Sterilisasi dilakukan sebelum penggunaan peralatan yang bertujuan untuk mencegah kemungkinan kontaminasi oleh mikroba. Proses sterilisasi dimulai dengan dicuci peralatan secara menyeluruh, kemudian dibilas menggunakan aquades. Selanjutnya, peralatan dimasukkan ke dalam oven untuk proses pengeringan. Setelah pengeringan, peralatan dibungkus dengan aluminium foil dan dimasukkan ke dalam autoklaf pada suhu 121°C dengan tekanan 15 psi (*per square inci*) selama 15 menit. Bagi peralatan yang tidak dapat menahan suhu tinggi, sterilisasi dilakukan dengan menggunakan alkohol 70%.

3.5.1.2 Pembuatan Media NA (Nutrien Agar)

Ditimbang serbuk media NA sebanyak 1,75gram dan ditambahkan 100 mL aquades ke dalam Erlenmeyer. Kemudian dipanaskan menggunakan hot plate hingga mencapai keadaan homogen. Setelah mencapai homogenitas, larutan NA dimasukkan ke dalam autoklaf untuk proses sterilisasi dengan suhu 121°C selama 15 menit. Selanjutnya, larutan media NA yang sudah disterilisasi, dituangkan ke dalam cawan petri steril dan dibiarkan hingga mengeras.

3.5.1.3 Penumbuhan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*

Pada tahap selanjutnya, bakteri diinokulasikan ke dalam media NA yang sudah disiapkan. Proses inokulasi dilakukan dengan menggoreskan jarum ose secara zig-zag pada permukaan media NA. Semua proses dilakukan secara

aseptis, dekat dengan api Bunsen. Setelah itu, cawan petri dengan bakteri tersebut kemudian ditempatkan dalam inkubator. Inkubasi dilakukan selama 24 jam dengan suhu konstan 37°C.

3.5.1.4 Persiapan Kulit Sapi

Proses persiapan sampel kulit sapi dimulai dengan dipotong kulit tersebut menjadi potongan kecil dengan ukuran 1 x 1 x 1 cm². Selanjutnya, potongan kulit disterilkan menggunakan autoklaf dengan suhu 121°C Selama 15 menit. Setelah sterilisasi berhasil dilakukan, satu ose bakteri diambil dari media NA dan diinokulasikan pada potongan kulit sapi. Potongan kulit yang telah diinokulasi kemudian ditempatkan dalam cawan petri. Semua proses di atas dilakukan secara aseptis, dekat dengan api Bunsen. Proses selanjutnya diinkubasi potongan kulit sapi tersebut dalam inkubator dengan suhu konstan 37°C selama 24jam.

3.5.1.5 Perlakuan Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Kulit Sapi

Tiga sampel kulit sapi yang sudah ditumbuhi bakteri distimulasi dengan variasi tegangan pulsa 50V, 60V, 70V, dan 80V. Kemudian masing-masing sampel diberi waktu stimulasi selama 5 menit, 10 menit, dan 15 menit. Setelah itu, kulit sapi dilabel dengan angka 1-3. Selanjutnya, setiap sampel kulit sapi yang sudah distimulasi listrik diberi antibiotik sebanyak 0,1 mL. Sampel kulit No. 1 kemudian diambil menggunakan pinset steril dan dibilas dengan aquades sebanyak 3 kali. Kulit No. 1 dimasukkan kedalam 10 mL NaCl 0,9% pada botol dan di vortex selama 1 menit untuk melepas bakteri. Kemudian, pengenceran dilakukan dengan mengambil sebanyak 1 mL kultur yang disebar pada cawan petri dan menuangkan media NA. Media NA tersebut selanjutnya diinkubasi

selama 24jam pada suhu 37°C. Langkah-langkah tersebut diulangi serta setiap perlakuan dilakukan 3 kali pengulangan.

3.5.1.6 Perhitungan Jumlah Koloni Bakteri

Dimasukkan sampel ke dalam botol flakon yang berisi 10 mL NaCl 0,9% kemudian dihomogenkan menggunakan *vortex mixer*. Sebanyak 1 mL dari suspensi sampel diambil dan dimasukkan ke dalam botol flakon steril berisi 9 mL aquades, dan proses ini diberi tanda pengenceran 10^{-1} . Setelah dihomogenkan, diambil kembali 1 mL dari suspensi 10^{-1} dan dimasukkan ke dalam botol flakon steril yang berisi 9 mL aquades untuk pengenceran berikutnya. Pengenceran dilanjutkan hingga cairan tidak keruh. Suspensi dari pengenceran 10^{-3} kemudian dituangkan sebanyak 1 mL ke dalam cawan petri steril, diikuti dengan penambahan media NA sebagai media pertumbuhan. Semua proses di atas dilakukan secara aseptis, dekat dengan api Bunsen. Setelah media mengeras, cawan petri ditempatkan dalam inkubator dengan posisi terbalik yaitu tutup berada di bawah, dan diinkubasi selama 24jam pada suhu 37°C. Setelah media membeku, koloni bakteri dihitung menggunakan *colony counter*. Jumlah koloni bakteri kemudian dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\sum \text{Total bakteri} = \sum \text{Koloni bakteri} \times \frac{1}{10^{-n}} \text{CFU/mL} \quad (3.1)$$

3.5.2 Mencit

3.5.2.1 Persiapan Hewan Uji

Disiapkan hewan uji sejumlah 10 ekor mencit (*Mus musculus*) jantan berusia 60-65 hari dengan berat badan berkisar antara 23-28gram. Kemudian hewan uji diaklimatisasi selama 7 hari sebelum perlakuan agar hewan uji dapat

beradaptasi dengan lingkungan baru untuk membantunya bertahan hidup. Hewan uji ditempatkan dalam beberapa kandang, setiap kandang berisi 5 ekor hewan uji dan bagian bawahnya dilapisi dengan sekam. Sekam diganti 3 hari sekali untuk menjaga kebersihan kandang dan kesehatan hewan uji. Hewan uji diberi makan BR1 dengan porsi yang sama untuk setiap hewan uji dan diberi air minum dalam botol berisi 100 ml air.

3.5.2.2 Induksi Aloksan Monohidrat pada Hewan Uji

Induksi aloksan monohidrat dilakukan untuk membuat hewan uji mengalami diabetes. Induksi dilakukan dengan cara intraperitoneal, yaitu menyuntikkan aloksan langsung ke dalam rongga perut dengan dosis 4,84 mg/kg BB. Sebelum menyiapkan larutan aloksan, mencit harus ditimbang terlebih dahulu untuk mengetahui berat badan mereka, yang digunakan untuk menentukan dosis aloksan yang sesuai. Setelah mencit ditimbang, setiap mencit diberi tanda dengan garis 1 hingga 5 untuk memastikan identifikasi yang akurat dan menghindari kesalahan. Larutan aloksan monohidrat disiapkan tepat sebelum injeksi karena aloksan cenderung menguap jika tidak segera digunakan. Proses pembuatannya dengan melarutkan aloksan sebesar 48,42 mg ke dalam 10 mL NaCl dan mengaduknya hingga homogen. Setiap mencit diberi injeksi dengan 1 mL larutan aloksan.

3.5.2.3 Pengukuran Kadar Gula Darah pada Hewan Uji

Setelah 72 jam dari penyuntikan, kadar gula darah pada mencit diukur menggunakan glukometer. Darah diambil dengan memotong ujung ekor mencit yang telah dibersihkan dengan alkohol menggunakan gunting bedah yang juga telah dibersihkan dengan alkohol. Kemudian, darah yang mengalir

ditetaskan pada strip glukotest yang selanjutnya dimasukkan ke dalam glukometer untuk mengukur kadar gula darah. Jika kadar gula darah pada mencit mencapai 200 mg/dl atau lebih, maka mencit tersebut dianggap mengalami diabetes.

3.5.2.4 Pemberian Luka Sayat pada Hewan Uji

Pemberian luka sayat dilakukan setelah mencit mengalami diabetes. Bulu pada bagian punggung mencit dicukur terlebih dahulu dengan menggunakan alat cukur yang telah disterilkan dengan alkohol. Selanjutnya, mencit diinjeksi anestesi Lidocaine 2% dengan dosis 0,05 mL/kg BB. Setelah anestesi mulai bekerja, mencit diberi luka sayat sepanjang 1 cm dengan kedalaman hingga lapisan kulit terdalam menggunakan silet yang sudah disterilkan dengan alkohol. Setelah itu, mencit dipindahkan dalam kandang bersekat untuk mencegah pertengkaran antara mencit. Setiap kandang bersekat diisi dengan 2 mencit yang ditempatkan di sisi kiri dan kanan, dan bagian bawah kandang dilapisi dengan sedikit sekam untuk menghindari luka pada mencit terkontaminasi. Kemudian, mencit dibiarkan hingga keesokan harinya sebelum diberi perlakuan karena luka masih terlalu basah.

3.5.2.5 Perlakuan Stimulasi Listrik dan Antibiotik pada Luka Hewan Uji

Mencit perlakuan diberi stimulasi listrik pada daerah sekitar luka sayat dengan tegangan pulsa 80V selama 15 menit. Setelah itu, diberi antibiotik pada luka sayat mencit yang sudah distimulasi listrik sebanyak 0,1 mL.

3.5.2.6 Pengamatan Visual Kondisi Luka Hewan Uji

Setelah mencit diberikan stimulasi listrik dan antibiotik, luka sayat difoto menggunakan kamera *smartphone* dengan jarak dan resolusi yang sama.

Selain itu, panjang serta lebar luka sayat pada mencit yang sudah diberi stimulasi dan antibiotik juga diukur menggunakan alat pengukur yang telah disteril dengan alkohol. Alat ukur diletakkan pada panjang dan lebar luka kemudian dicatat hasilnya.

3.5.2.7 Pengamatan Mikroskopis Kondisi Luka Hewan Uji

Setelah perlakuan hari ketujuh, sampel preparat histopatologi luka pada mencit diambil. Pengambilan sampel dilakukan dengan membunuh satu ekor mencit dari setiap kelompok melalui metode dislokasi leher, kemudian dilakukan pembedahan pada area punggung yang terluka untuk mengambil jaringan yang akan digunakan sebagai preparat histopatologi. Jaringan kulit yang terinfeksi luka dianalisis menggunakan mikroskop cahaya (Olympus CX23) dengan bantuan kamera OptiLab, dan hasilnya ditampilkan melalui perangkat lunak OptiLab Viewer. Pengamatan dilakukan dengan perbesaran 10x dan 40x secara visual untuk mengevaluasi parameter histopatologi, yaitu keberadaan makrofag (sel radang) dan fibroblast yang berperan dalam proses penyembuhan luka.

3.6 Teknik Pengolahan Data

Data yang diperoleh kemudian diolah, yang mencakup hasil perhitungan jumlah bakteri *Pseudomonas aeruginosa* pada kulit yang sudah telah diberikan stimulasi listrik dan antibiotik, kadar gula darah pada mencit, serta luas luka sayat pada mencit yang telah menerima stimulasi listrik dan antibiotik kemudian dicatat pada tabel 3.1, 3.2, 3.3, dan 3.4.

Tabel 3.1 Data Jumlah Koloni Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*

Tegangan Pulse (V)	Waktu (menit)	Antibiotik	Jumlah Koloni Bakteri		
Kontrol	5				
	10				
	15				
50	5				
	10				
	15				
60	5				
	10				
	15				
70	5				
	10				
	15				
80	5				
	10				
	15				

Tabel 3.2 Uji Kadar Gula pada Mencit Sebelum dan Sesudah Penelitian

No.	Kelompok 1			Kelompok 2		
	BB (gram)	Kadar Glukosa Darah (mg/dl)		BB (gram)	Kadar Glukosa Darah (mg/dl)	
		Awal	Akhir		Sebelum Perlakuan	Sesudah Perlakuan
1						
2						
3						
4						
5						
Rata-Rata						

Tabel 3.3 Pengolahan Data Panjang dan Lebar Luka Mencit

Kelompok	Hari ke- 1 (cm)		Hari ke-4 (cm)		Hari ke-7 (cm)	
	Panjang	Lebar	Panjang	Lebar	Panjang	Lebar
Kontrol 1						
Kontrol 2						
Kontrol 3						
Kontrol 4						
Kontrol 5						
Perlakuan 1						
Perlakuan 2						
Perlakuan 3						
Perlakuan 4						
Perlakuan 5						

Tabel 3.4 Pengolahan Data Fisiologi Luka

Nama	Hari ke-1	Hari ke-4	Hari ke-7
Kontrol 1			
Kontrol 2			
Kontrol 3			
Kontrol 4			
Kontrol 5			
Perlakuan 1			
Perlakuan 2			
Perlakuan 3			
Perlakuan 4			
Perlakuan 5			

3.7 Teknik Analisis Data

Dalam penelitian ini, analisis data dilakukan menggunakan *IBM SPSS Statistics* dengan teknik analisis data yang berupa Uji Faktorial berdasarkan Rancangan Acak lengkap (RAL) untuk menentukan apakah stimulasi listrik dan antibiotik berpengaruh terhadap pertumbuhan bakteri. Jika hasil uji faktorial

menunjukkan nilai yang signifikan, maka dilanjutkan dengan uji DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) untuk mengidentifikasi perbedaan signifikan antara kelompok perlakuan.

Pada analisis luka mencit, pengamatan dilakukan secara visual dan mikroskopis. Pengamatan visual mencakup panjang dan lebar luka, serta penilaian perkembangan luka pada mencit. Sedangkan pengamatan mikroskopis dilakukan untuk mengamati jaringan makrofag (sel radang) dan fibroblast pada luka mencit.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Dalam penelitian ini, sampel yang digunakan meliputi bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan mencit (*Mus musculus*). Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* di inokulasikan pada potongan kulit sapi berukuran 1 x 1 x 1 cm², sedangkan mencit diinduksi dengan aloksan monohidrat untuk menimbulkan kondisi diabetes. Penelitian ini menggunakan alat EMS (*electrical muscle stimulation*) dengan arus 0,5 mA dan tegangan 10 V. Sampel diberi stimulasi listrik dengan variasi tegangan pulsa sebesar 50 V, 60 V, 70 V, dan 80 V, serta variasi waktu paparan 5 menit, 10 menit, dan 15 menit bersama dengan pemberian antibiotik sebanyak 0,1 mL. Tegangan pulsa dan waktu paparan stimulasi listrik yang paling efektif dalam mematikan bakteri, kemudian diaplikasikan pada luka mencit yang menderita diabetes untuk mempercepat proses penyembuhan luka.

4.1.1 Pengaruh Tegangan Pulsa Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*

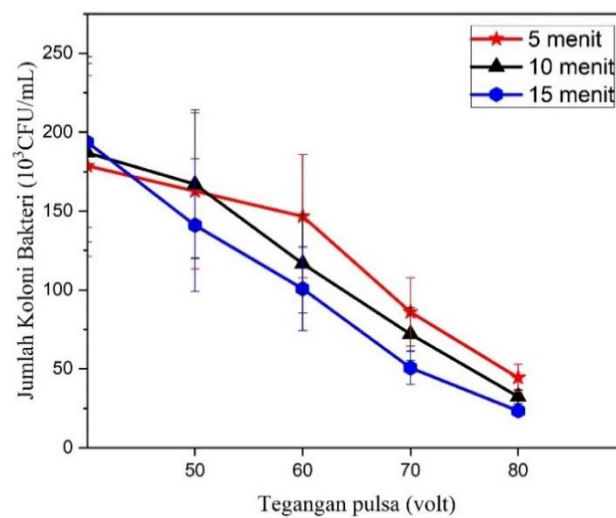
Pemberian stimulasi listrik dan antibiotik dilakukan dengan variasi tegangan pulsa 50 V, 60 V, 70 V, dan 80 V, serta variasi waktu paparan 5 menit, 10 menit, dan 15 menit bersama dengan pemberian antibiotik sebanyak 0,1 mL. Data hasil pengaruh tegangan pulsa stimulasi listrik dan antibiotik terhadap pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* ditunjukkan pada tabel 4.1:

Tabel 4.1 Data Hasil Pengaruh Tegangan Pulsa Stimulasi Listrik dan Antibiotik 0,1 mL terhadap Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*

Tegangan pulsa (V)	Waktu (menit)	Jumlah Koloni Bakteri (10^3 CFU/mL)			Rata-rata (10^3 CFU/mL)
		1	2	3	
Kontrol	5	189	181	166	$178,66 \pm 57,33$
	10	195	192	174	$187 \pm 56,54$
	15	198	196	187	$193,66 \pm 54,20$
50	5	169	166	153	$162,66 \pm 49,37$
	10	177	182	142	167 ± 47
	15	146	152	125	$141 \pm 41,99$
60	5	133	148	159	$146,66 \pm 38,99$
	10	121	128	101	$116,66 \pm 31,35$
	15	113	117	72	$100,66 \pm 26,45$
70	5	87	106	65	$86 \pm 21,69$
	10	73	85	58	$72 \pm 16,67$
	15	51	60	41	$50,66 \pm 10,57$
80	5	44	54	35	$44,33 \pm 8,60$
	10	31	37	29	$32,33 \pm 4,5$
	15	24	26	20	$23,33 \pm 0$

Jumlah koloni bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dipengaruhi oleh tegangan pulsa stimulasi listrik dan antibiotik, seperti yang ditunjukkan dalam tabel 4.1. Pada sampel kontrol, jumlah rata-rata koloni bakteri mencapai $178,66 \pm 57,33 \times 10^3$ CFU/mL setelah 5 menit, kemudian meningkat menjadi $193,66 \pm 54,20 \times 10^3$ CFU/mL setelah 15 menit. Pemberian stimulasi listrik dengan tegangan pulsa 50 V, jumlah koloni bakteri menunjukkan fluktuasi, pada waktu 5 menit, jumlah bakteri menurun menjadi $162,66 \pm 49,37 \times 10^3$ CFU/mL, kemudian meningkat menjadi $167 \pm 47 \times 10^3$ CFU/mL pada waktu 10 menit, dan menurun lagi menjadi $141 \pm 41,99 \times 10^3$ CFU/mL pada waktu 15 menit. Peningkatan tegangan pulsa menjadi 60 V dan 70 V mengakibatkan penurunan jumlah koloni bakteri yang lebih signifikan, dengan jumlah koloni bakteri masing-masing sebesar $100,66 \pm 26,45 \times 10^3$ CFU/mL

dan $50,66 \pm 10,57 \times 10^3$ CFU/mL pada waktu 15 menit. Tegangan pulsa 80 V menunjukkan penurunan jumlah koloni bakteri yang paling drastis, mencapai $23,33 \pm 0 \times 10^3$ CFU/mL pada waktu 15 menit. Berdasarkan data dalam tabel 4.1, dapat disimpulkan bahwa peningkatan tegangan pulsa dan waktu paparan, jumlah koloni bakteri hidup akan berkurang.



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Tegangan Pulsa Stimulasi Listrik dan Antibiotik 0,1 terhadap Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*

Pengaruh tegangan pulsa stimulasi listrik dan antibiotik terhadap pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* ditunjukkan pada Gambar 4.1. Pada waktu 5 menit, grafik menunjukkan penurunan jumlah koloni bakteri yang signifikan seiring dengan peningkatan tegangan pulsa, terutama setelah diberi tegangan pulsa 60 V, 70 V, dan 80 V. Grafik menunjukkan semakin tinggi tegangan pulsa stimulasi listrik, semakin sedikit jumlah bakteri yang tersisa. Penurunan terbesar terjadi pada tegangan pulsa 80 V dengan waktu stimulasi 15 menit.

Tabel 4.2 Hasil Analisis Uji Faktorial pada Jumlah Koloni Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	727759.333 ^a	15	48517.289	255.683	.000
Tegangan	140603.911	4	35150.978	185.243	.000
Waktu	3614.178	2	1807.089	9.523	.001
Tegangan * Waktu	3726.489	8	465.811	2.455	.036
Error	5692.667	30	189.756		
Total	733452.000	45			

Berdasarkan hasil analisis uji faktorial yang ditampilkan dalam tabel 4.2, tegangan pulsa terbukti memiliki pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa*, dengan nilai signifikansi sebesar 0,00, yang berarti kurang dari 0,05. Karena hasil $p < 0,05$, maka dilakukan uji lanjut menggunakan uji DMRT untuk membandingkan rata-rata tiap kelompok data dan mengidentifikasi perbedaan signifikan dari setiap tegangan pulsa dalam menghambat pertumbuhan bakteri.

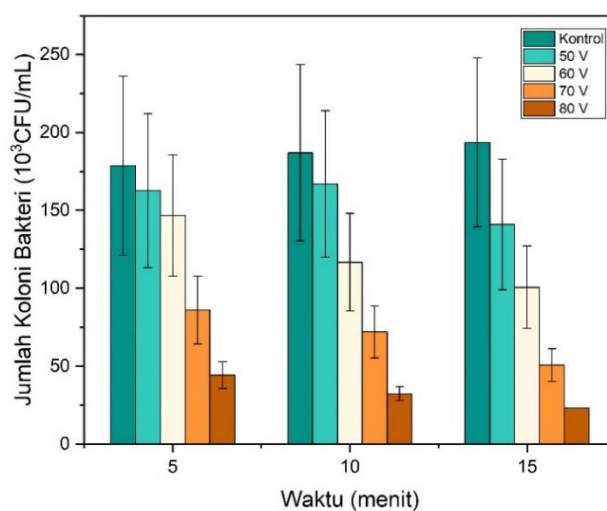
Tabel 4.3 Hasil Uji DMRT Pengaruh Tegangan Pulsa terhadap Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*

Tegangan pulsa (volt)	Jumlah Koloni Bakteri (CFU/mL)	Notasi Huruf
80	33,33	a
70	69,56	b
60	121,33	c
50	156,89	d
0	186,44	e

Berdasarkan hasil uji DMRT yang ditampilkan dalam tabel 4.3, setiap tegangan pulsa memiliki perbedaan signifikan dibandingkan dengan tegangan pulsa yang lain terhadap jumlah koloni bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. Hal ini dibuktikan dengan hasil notasi huruf yang berbeda pada setiap tegangan pulsa. Tegangan pulsa 80 V menunjukkan efektivitas tertinggi dalam menghambat pertumbuhan bakteri, dengan jumlah koloni bakteri terendah sebesar 33,33

CFU/mL (notasi huruf “a”), yang menunjukkan bahwa tegangan pulsa 80 V berbeda secara signifikan dengan semua tegangan pulsa lainnya dan yang paling efektif dalam menurunkan jumlah koloni bakteri. Tegangan pulsa 70 V menghasilkan jumlah koloni 69,56 CFU/mL (notasi huruf “b”), mengindikasikan pengaruh signifikan namun kurang efektif dibandingkan 80 V. Dengan penurunan tegangan pulsa, jumlah koloni bakteri meningkat, dimana tegangan 60 V menghasilkan 121,33 CFU/mL (notasi huruf “c”) dan tegangan 50 V menghasilkan 156,89 CFU/mL (notasi huruf “d”). Tegangan 0 V atau kontrol memiliki jumlah koloni bakteri tertinggi, yaitu 186,44 CFU/mL (notasi huruf “e”), yang menunjukkan tidak adanya pengaruh dalam menghambat pertumbuhan bakteri. Dengan demikian, tegangan pulsa yang paling signifikan mempengaruhi pertumbuhan bakteri adalah tegangan pulsa 80 V dengan notasi huruf “a”.

4.1.2 Pengaruh Waktu Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*



Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Waktu Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*

Pengaruh waktu stimulasi listrik dan antibiotik terhadap pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* ditunjukkan pada Gambar 4.1. Tegangan pulsa 80 V menghasilkan penurunan jumlah koloni bakteri paling signifikan pada semua variasi waktu, dengan pengurangan terbesar terjadi pada waktu 15 menit. Bila dibandingkan dengan kontrol yang tidak mendapatkan stimulasi listrik dan antibiotik, dimana jumlah koloni bakteri tetap tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa, tingginya tegangan pulsa dan lama waktu paparan, secara efektif menghambat pertumbuhan bakteri. Tegangan pulsa 80 V selama 15 menit adalah kondisi optimal untuk menghambat pertumbuhan bakteri.

Berdasarkan hasil analisis uji faktorial yang ditampilkan dalam tabel 4.2, waktu terbukti memiliki pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa*, dengan nilai signifikansi sebesar 0,001, yang berarti kurang dari 0,05. Karena hasil $p < 0,05$, maka dilakukan uji lanjut menggunakan uji DMRT untuk membandingkan rata-rata tiap kelompok data dan mengidentifikasi perbedaan signifikan dari setiap waktu dalam menghambat pertumbuhan bakteri.

Tabel 4.4 Hasil Uji DMRT Pengaruh Waktu terhadap Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*

Waktu (menit)	Jumlah Koloni Bakteri (CFU/mL)	Notasi Huruf
15	101,87	a
10	115,00	b
5	123,67	b

Tabel 4.5 menunjukkan hubungan antara waktu paparan stimulasi listrik dengan jumlah koloni bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. Uji DMRT menghasilkan dua notasi huruf yang berbeda yaitu a dan b. Pada waktu 15 menit, jumlah koloni bakteri menunjukkan yang paling rendah dibandingkan dengan waktu 10 menit dan 5 menit. Dengan hasil notasi huruf 'a', menunjukkan perbedaan secara signifikan

dalam penurunan jumlah koloni bakteri dibandingkan dengan notasi ‘b’ pada waktu 10 menit dan 5 menit. Notasi huruf ‘b’ pada waktu tersebut, menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan signifikan antara keduanya secara statistik. Hal ini menunjukkan bahwa, waktu paparan 15 menit berbeda signifikan dibandingkan dengan waktu yang lain dan memberikan efektivitas dalam mengurangi jumlah koloni bakteri.

4.1.3 Pengaruh Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Kondisi Luka Mencit Diabetes Melitus

4.1.3.1 Kadar Gula Darah

Stimulasi listrik dengan tegangan pulsa 80V selama 15 menit dan antibiotik 0,1 mL diberikan kepada mencit, karena tegangan pulsa dan waktu tersebut adalah yang paling efektif untuk proses penyembuhan luka. Induksi aloksan monohidrat dengan dosis 4,84 mg/kg BB berhasil menyebabkan diabetes pada mencit. Mencit dikategorikan menderita diabetes jika kadar glukosa darahnya melebihi 200 mg/dL (Bahman et al., 2019). Dalam penelitian ini, rata-rata kadar gula darah mencit ± 350 mg/dL setelah diinduksi aloksan monohidrat.

Tabel 4.5 Data Hasil Pengukuran Kadar Gula Darah pada Mencit Sebelum dan Sesudah Perlakuan

No.	Kelompok Kontrol			Presentase	Kelompok Perlakuan			Presentase
	BB (gram)	Kadar Glukosa Darah (mg/dl)			BB (gram)	Kadar Glukosa Darah (mg/dl)		
		Awal	Akhir			Sebelum Perlakuan	Sesudah Perlakuan	
1	23	407	398	-2%	22	408	382	-6%
2	25	373	369	-1%	26	380	364	-4%
3	24	312	325	4%	24	320	311	-3%
4	21	402	395	-2%	26	354	332	-6%
5	26	362	375	4%	28	315	308	-2%
Rata-Rata	23,8	371,2	372,4	0%	25,2	355,4	339,4	-5%

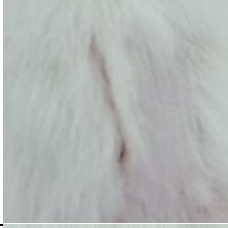
Hasil pengukuran kadar gula darah pada mencit kelompok kontrol dan kelompok perlakuan ditampilkan pada tabel 4.6. Rata-rata kadar gula darah pada kelompok kontrol setelah diinduksi aloksan monohidrat mencapai 371,2 mg/dL, sedangkan setelah tujuh hari perlakuan, rata-rata kadar gula darah meningkat menjadi 372,4 mg/dL. Selisih rata-rata kadar gula darah kelompok kontrol antara setelah diinduksi aloksan dan setelah tujuh hari perlakuan adalah 1,2 mg/dL. Sementara itu, pada kelompok perlakuan, rata-rata kadar gula darah setelah diinduksi aloksan monohidrat mencapai 355,4 mg/dL, sedangkan setelah tujuh hari perlakuan, rata-rata kadar gula darah kelompok perlakuan menurun menjadi 339,4 mg/dL. Selisih rata-rata kadar gula darah kelompok perlakuan antara setelah diinduksi aloksan dan setelah tujuh hari perlakuan adalah 16 mg/dL. Hal ini menunjukkan bahwa kadar gula darah pada mencit dapat menurun dengan pemberian stimulasi listrik.

4.1.3.2 Perkembangan Kondisi Luka Mencit

Perkembangan luka pada mencit diabetes dapat diamati melalui luka pada punggung selama 7 hari yang ditampilkan dalam tabel 4.7, 4.8, dan 4.9. Mencit diaklimatisasi selama 7 hari, kemudian diinduksi aloksan monohidrat dengan dosis yang sudah ditentukan. Setelah kadar gula darah mencit melebihi batas normal, mencit diinjeksi anestesi Lidocaine sesuai dengan dosis yang sudah ditentukan. Setelah mencit berada di bawah pengaruh anestesi, luka sayat diberikan pada punggung mencit sepanjang 1 cm hingga mencapai lapisan kulit terdalam. Luka mencit diberi stimulasi listrik dengan tegangan pulsa 80 V selama 15 menit dan antibiotik sebanyak 0,1 mL pada kelompok perlakuan.

Tabel 4.6 Gambar Perkembangan Luka pada Mencit

Kelompok Kontrol	Hari ke-1	Hari ke-4	Hari ke-7
Sampel 1			
Sampel 2			
Sampel 3			
Sampel 4			
Sampel 5			

Kelompok Perlakuan	Hari ke-1	Hari ke-4	Hari ke-7
Sampel 1			
Sampel 2			
Sampel 3			
Sampel 4			
Sampel 5			

Tabel 4.7 Hasil Pengamatan Perkembangan Kondisi Luka pada Mencit

Hari	Indikator	Kelompok Kontrol					Kelompok Perlakuan				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	Warna	+	+	+	+	++	+	+	+	+	++
	Luka kering	*	*	*	*	**	*	*	*	*	**
	Keropeng	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
2	Warna	+	+	+	+	++	+	+	+	+	++
	Luka kering	*	*	*	*	**	*	*	*	*	**
	Keropeng	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
3	Warna	+	+	+	+	++	+	+	++	+	++
	Luka kering	*	*	*	*	**	*	*	*	*	**
	Keropeng	#	#	#	#	#	#	#	#	#	#
4	Warna	+	++	++	+	++	++	++	++	++	++
	Luka kering	**	**	**	*	(*)	**	**	**	**	**
	Keropeng	#	#	#	#	#	##	##	##	#	##
5	Warna	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
	Luka kering	**	**	**	*	(*)	**	**	**	**	**
	Keropeng	#	#	#	#	#	##	##	##	##	##
6	Warna	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
	Luka kering	**	**	(*)	**	(*)	(*)	(*)	(*)	**	(*)
	Keropeng	#	##	##	#	#	(#)	(#)	(#)	##	(#)
7	Warna	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++
	Luka kering	(*)	(*)	(*)	**	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
	Keropeng	#	##	##	#	#	(#)	(#)	(#)	(#)	(#)

Keterangan:

+: warna merah

++: merah kecoklatan

*: luka lembab

**: kering

(*): menutup

#: tidak terbentuk keropeng

##: terbentuk keropeng

(#): keropeng mengelupas

Tabel 4.8 Panjang dan Lebar Luka Mencit

Kelompok	Sampel	Hari ke- 1 (cm)		Hari ke-4 (cm)		Hari ke-7 (cm)	
		Panjang	Lebar	Panjang	Lebar	Panjang	Lebar
Kontrol	1	1	0,4	1	0,3	0,9	0,2
	2	1	0,4	0,9	0,4	0,8	0,3
	3	1	0,2	1	0,1	0,9	0,1
	4	1	0,5	1	0,4	0,9	0,3
	5	1	0,2	1	0,2	0,8	0,1
Perlakuan	1	1	0,3	0,7	0,2	0,4	0,2
	2	1	0,4	0,7	0,2	0,3	0,2
	3	1	0,4	0,9	0,2	0,6	0,1
	4	1	0,2	0,8	0,1	0,6	0,1
	5	1	0,2	0,7	0,1	0,2	0,1

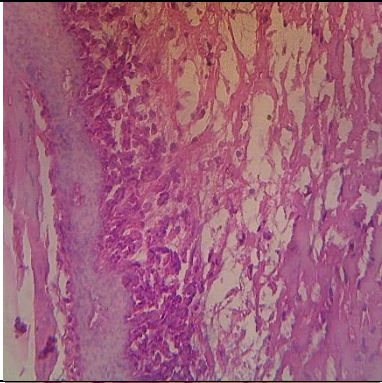
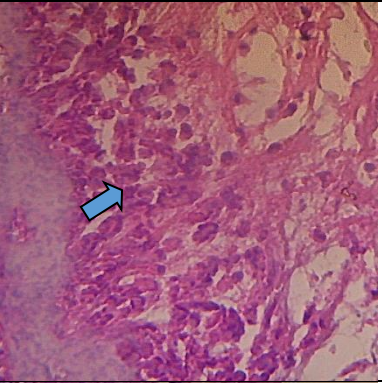
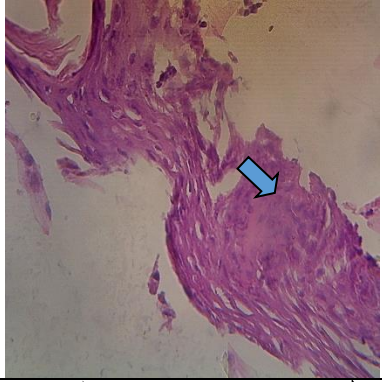
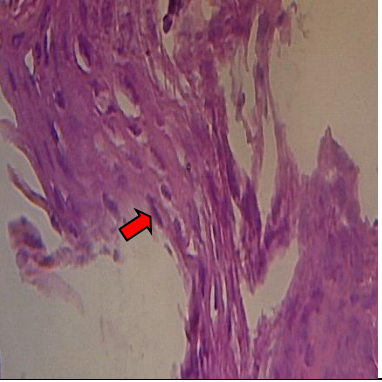
Berdasarkan tabel 4.7, 4.8, dan 4.9, mencit kelompok kontrol mengalami proses penyembuhan luka lebih lama dari kelompok perlakuan. Seperti yang tertera pada tabel, kondisi luka kelompok kontrol 1 masih terlihat kemerahan sampai hari ketujuh. Kondisi luka kelompok kontrol 2 pada hari ketujuh terlihat warna kecoklatan dan luka mulai mengering tetapi tidak menutup. Kondisi luka kelompok kontrol 3 pada hari ketujuh terlihat luka mulai menutup tetapi masih belum tertutup sepenuhnya. Kondisi luka kelompok kontrol 4 pada hari ketujuh terlihat warna merah pucat dan luka belum sepenuhnya mengering. Kondisi luka kelompok kontrol 5 pada hari ketujuh terlihat warna merah kecoklatan dan luka mulai menutup. Sedangkan pada kelompok perlakuan yang diberi stimulasi listrik dengan tegangan 80 V selama 15 menit dan antibiotik sebanyak 0,1 mL mengalami proses penyembuhan luka lebih cepat. Kondisi luka kelompok perlakuan 1 pada hari ketujuh mengalami perubahan yang signifikan, luka menutup dan keropeng

mengelupas. Kondisi luka kelompok perlakuan 2 pada hari ketujuh juga mengalami perubahan yang signifikan, luka menutup dan mengecil, serta keropeng mengelupas. Kondisi luka pada hari ketujuh kelompok perlakuan 3 terlihat luka mengering dan menutup serta panjang luka berkurang dibandingkan dengan hari pertama. Kondisi luka pada hari ketujuh kelompok perlakuan 4 terlihat luka juga menutup dan mengering serta panjang luka berkurang. Kondisi luka kelompok perlakuan 5 pada hari ketujuh terlihat menutup dan mengering serta panjang luka berkurang dibandingkan dengan hari pertama.

4.1.3.3 Pengamatan Preparat Histopatologi

Sampel preparat histopatologi luka pada mencit diambil pada hari ketujuh setelah perlakuan. Pengambilan sampel dilakukan dengan membunuh satu ekor mencit dari setiap kelompok melalui metode dislokasi leher, kemudian dilakukan pembedahan pada area punggung yang terluka untuk mengambil jaringan yang akan digunakan sebagai preparat histopatologi. Jaringan kulit yang terinfeksi luka dianalisis menggunakan mikroskop cahaya (Olympus CX23) dengan bantuan kamera OptiLab, dan hasilnya ditampilkan melalui perangkat lunak OptiLab Viewer. Pengamatan dilakukan dengan perbesaran 10x dan 40x secara visual untuk mengevaluasi parameter histopatologi, yaitu keberadaan makrofag (sel radang) dan fibroblast yang berperan dalam proses penyembuhan luka. Hasil pengamatan preparat histopatologi luka mencit disajikan pada tabel 4.10 di bawah ini:

Tabel 4.9 Gambar Hasil Pengamatan Preparat Histopatologi Luka Mencit

Kelompok	Perbesaran	
	10x	40x
Kontrol		
Perlakuan		

Keterangan:  Fibroblast  Makrofag

Tabel 4.10 Hasil Penilaian Parameter Preparat Histopatologi

Kelompok	Fibroblast	Makrofag (Sel Radang)
Kontrol	-	++
Perlakuan	++	+

Keterangan: (-) tidak terdapat fibroblast; (+) terdapat sedikit makrofag dan fibroblast; (++) terdapat banyak fibroblast dan makrofag

Berdasarkan hasil preparat histopatologi dalam tabel 4.10 dan 4.11, pada kelompok kontrol terlihat tidak terdapat fibroblast dan terdapat banyak makrofag. Hal ini dikarenakan pada kelompok kontrol tidak mendapatkan perlakuan khusus untuk mempercepat proses penyembuhan luka. Jadi proses penyembuhan terjadi lebih lambat, yang mengakibatkan tidak terdapat fibroblast. Sedangkan pada kelompok perlakuan, terdapat banyak jumlah fibroblast dan sedikit makrofag. Hal ini dikarenakan pada kelompok perlakuan, mendapatkan stimulasi listrik dan

antibiotik yang berperan untuk mempercepat proses penyembuhan luka. Terdapat banyak jumlah fibroblast menandakan bahwa stimulasi listrik dan antibiotik yang diberikan mampu mempercepat fase proliferasi dan meningkatkan proses regenerasi jaringan.

4.2 Pembahasan

Penelitian ini menggunakan alat EMS (*electrical muscle stimulation*) dengan arus sebesar 0,5 mA dan tegangan sebesar 10 V. Variasi tegangan pulsa yang diberikan adalah 50 V, 60 V, 70 V, dan 80 V, dengan variasi waktu 5 menit, 10 menit, dan 15 menit. Biokatan digunakan sebagai antibiotik herbal, yang mengandung senyawa antibiotik alami salah satunya dari ekstrak daun mimba (*Azadirachta indica*). Tanaman ini kaya akan senyawa alkaloid, steroid, saponin, tanin, dan flavonoid. Tanin berperan dalam penyembuhan luka dengan beberapa mekanisme seluler, termasuk peningkatan pembentukan jaringan dermis di area luka (Kurnianto et al., 2017). Tanin juga memiliki efek antibakteri yang dilakukan melalui beberapa cara, seperti berkaitan dengan membran sel bakteri, menonaktifkan enzim, dan merusak atau menonaktifkan materi genetik bakteri. Efek ini mengganggu fungsi penting bakteri, menghambat pertumbuhan mereka, dan mendukung proses penyembuhan luka (Mutia et al., 2018). Flavonoid adalah sejenis senyawa fenolik yang memiliki kemampuan menyembuhkan berbagai penyakit, termasuk berfungsi sebagai antibakteri. Flavonoid bertindak sebagai antibakteri dengan cara berikatan dengan protein ekstraseluler bakteri, yang kemudian mengganggu integritas membran sel bakteri. Proses ini mengakibatkan denaturasi protein bakteri dan kerusakan pada membran sel, sehingga sel bakteri menjadi rusak dan tidak dapat pulih. Mekanisme ini efektif dalam menghambat

pertumbuhan bakteri dan akhirnya menyebabkan kematian sel bakteri. Selain itu, flavonoid berfungsi sebagai antioksidan yang efektif dengan mendukung proses reepitelisasi dan memiliki aktivitas antimikroba yang dapat merangsang kontraksi luka serta mempercepat proses epitelisasi (Triyudani et al., 2012). Tanin dan flavonoid adalah jenis polifenol yang memiliki potensi sebagai antioksidan. Antioksidan ini dapat melindungi fibroblast dari kerusakan yang disebabkan oleh oksidasi (Kurnianto et al., 2017).

Pseudomonas aeruginosa merupakan bakteri Gram negatif berbentuk batang yang berukuran $0,6 \times 2 \mu\text{m}$. Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* merupakan patogen utama bagi manusia dan dapat menimbulkan beberapa penyakit salah satunya adalah infeksi pada luka (Asmal et al., 2024). Penelitian ini menggunakan sampel bakteri *Pseudomonas aeruginosa* yang diinokulasikan ke dalam kulit sapi berukuran $1 \times 1 \times 1 \text{ cm}^2$. Sampel diberi stimulasi listrik dengan variasi tegangan pulsa 50 V, 60 V, 70 V, dan 80 V dengan variasi waktu 5, 10, dan 15 menit serta antibiotik 0,1 mL. Mencit yang menderita diabetes melitus diberi luka sayat pada punggung sepanjang 1 cm hingga lapisan kulit terdalam. Luka pada mencit diberi stimulasi listrik dengan tegangan pulsa 80 V dan waktu 15 menit serta antibiotik 0,1 mL. Perlakuan tersebut diberikan selama 7 hari.

4.2.1 Pengaruh Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Jumlah Bakteri

Pseudomonas aeruginosa

Berdasarkan hasil analisis data dan grafik diatas, stimulasi listrik dan antibiotik berpengaruh terhadap jumlah koloni bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. Semakin besar tegangan pulsa yang diberikan maka semakin menurun jumlah koloni bakteri. Begitu pula dengan waktu paparan, semakin lama waktu yang

diberikan maka semakin menurun jumlah koloni bakteri. Dimana pemberian stimulasi listrik dengan variasi tegangan pulsa 50 V, 60 V, 70 V, 80 V dan variasi waktu 5 menit, 10 menit, dan 15 menit serta pemberian antibiotik 0,1 mL, rata-rata jumlah koloni bakteri *Pseudomonas aeruginosa* menurun dibandingkan dengan kelompok tanpa perlakuan (kontrol).

Pada tegangan pulsa 50 V, jumlah koloni bakteri tidak mengalami penurunan yang signifikan, dan pertumbuhan bakteri cenderung berfluktuasi. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan tersebut tidak cukup kuat untuk secara konsisten menghambat atau membunuh bakteri. Fluktuasi ini terkait dengan respons adaptif bakteri terhadap stres listrik, yaitu kondisi di mana bakteri mengalami tekanan akibat arus listrik yang mengganggu keseimbangan fisiologis bakteri. Stres ini dapat meningkatkan permeabilitas membran sel bakteri, sehingga memungkinkan bakteri untuk lebih mudah menyesuaikan lingkungan internalnya. Akibatnya, bakteri dapat bertahan lebih lama dan menunda efek antibiotik, sehingga tidak terjadi penurunan jumlah koloni yang signifikan.

Stimulasi listrik pada bakteri dapat mengakibatkan efek termal dan elektrolisis yang berpotensi membunuh bakteri. Stimulasi listrik pada bakteri dapat menyebabkan peningkatan suhu sel akibat tumbukan antar molekul, yang menghasilkan efek termal atau panas. Berdasarkan Hukum Joule, arus listrik yang melewati konduktor mengubah energi listrik menjadi energi panas (Asriwati, 2017). Ketika arus listrik dialirkan, arus tersebut menggetarkan atom-atom dalam sel tubuh, yang menyebabkan tumbukan antar atom dan meningkatkan suhu sel. Kenaikan suhu ini menciptakan efek termal, dimana panas yang dihasilkan dari arus listrik menyebar ke sekelilingnya. Jika suhu melebihi batas toleransi bakteri seperti

Pseudomonas aeruginosa, panas tersebut dapat merusak struktur sel, menghentikan proses metabolisme, dan akhirnya membunuh bakteri yang terpapar (Diehr P.E., 2014).

Elektrolisis adalah proses dimana arus listrik menguraikan suatu zat elektrolit, yang berarti dalam proses ini energi listrik diubah menjadi energi kimia melalui reaksi redoks (Fitriyanti, 2021). Ketika arus listrik mengalir melalui larutan yang mengandung bakteri, elektrolisis memecah larutan menjadi kation dan anion. Kation bergerak menuju katoda (elektroda negatif) dan mengalami reduksi, sedangkan anion menuju anoda (elektroda positif) dan mengalami oksidasi. Proses ini menyebabkan perubahan potensial transmembran pada bakteri, yang mengarah pada peningkatan porositas membran sel. Peningkatan porositas ini meningkatkan permeabilitas dinding sel, sehingga partikel dari luar masuk ke dalam sel dan menyebabkan pembengkakan. Akhirnya, sel akan mengalami lisis, yaitu kerusakan membran sel yang menyebabkan kematian bakteri.

Berdasarkan hasil analisis uji faktorial, interaksi antara tegangan pulsa pada stimulasi listrik dan waktu paparan berpengaruh signifikan dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dengan nilai $p < 0,05$. Uji lanjut DMRT menunjukkan bahwa tegangan pulsa 80 V paling optimal dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dengan jumlah koloni bakteri 33,33 CFU/mL dibandingkan kontrol. Waktu paparan yang paling efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* adalah 15 menit. Hal ini sejalan dengan penelitian Muslim et al (2013) yang menunjukkan bahwa semakin tinggi tegangan listrik yang diberikan, semakin signifikan pula penurunan jumlah bakteri yang terjadi.

Stimulasi listrik dan antibiotik merupakan metode yang efektif apabila dikombinasikan untuk menghambat pertumbuhan bakteri. Stimulasi listrik dapat mempengaruhi membran sel bakteri, sehingga mengganggu proses metabolisme. Sementara itu, antibiotik yang mengandung senyawa yang memiliki efek antibakteri dan dapat merusak struktur sel bakteri. Kombinasi keduanya menyebabkan kondisi lingkungan bakteri menjadi tidak kondusif bagi pertumbuhan bakteri, sehingga pertumbuhan bakteri terhambat.

4.2.2 Pengaruh Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Perkembangan Kondisi Luka Mencit Diabetes Melitus

Berdasarkan hasil pada penelitian ini, didapatkan perlakuan yang paling efektif untuk menghambat pertumbuhan bakteri, yaitu stimulasi listrik dengan tegangan 80 V selama 15 menit dan antibiotik 0,1 mL yang kemudian diaplikasikan ke mencit yang menderita diabetes melitus. Selama 7 hari mencit diaklimatisasi agar beradaptasi dengan lingkungan baru. Untuk membuat mencit menderita diabetes melitus, mencit diinduksi dengan aloksan monohidrat dengan dosis yang sudah ditetapkan. Setelah 72 jam, apabila kadar gula darah pada mencit melebihi batas normal yaitu 200 mg/dL maka mencit sudah dinyatakan menderita diabetes melitus.

Kenaikan kadar gula darah pada mencit dapat bervariasi akibat perbedaan respons individu mencit terhadap aloksan. Aloksan merusak sel beta pankreas dengan menghasilkan spesies oksigen reaktif (ROS). Aloksan bereaksi dengan glutathione, dan mengubahnya menjadi radikal bebas seperti radikal superoksida. Radikal superoksida kemudian diubah menjadi hidrogen peroksida (H_2O_2) dan melalui reaksi Fenton dengan ion ferro, membentuk radikal hidroksil yang sangat

reaktif. Radikal hidroksil ini kemudian merusak DNA dan komponen seluler lainnya, yang menyebabkan kerusakan pada sel beta pankreas (Bahman et al., 2019). Rusaknya sel beta pankreas menyebabkan peningkatan kadar gula darah pada mencit. Kadar gula darah pada mencit diukur setelah dipuasakan selama 8 hingga 12 jam menggunakan glukometer *Easy touch*. Pengambilan darah dilakukan dengan memotong ujung ekor mencit yang sudah disteril alkohol menggunakan gunting bedah. Setelah darah keluar dari ekor mencit kemudian diteteskan pada strip glukometer dan hasil akan tertera pada alat tersebut. Pada hari ketiga setelah induksi aloksan, rata-rata kadar gula pada kelompok kontrol dan kelompok perlakuan berturut-turut adalah 371,2 mg/dL dan 355,4 mg/dL. Hal ini sesuai dengan Bahman et al., (2019), yang menyatakan aloksan dapat menyebabkan mencit menderita diabetes melitus.

Mencit kelompok perlakuan yang sudah menderita diabetes diberi stimulasi listrik dan antibiotik selama 7 hari. Kelompok kontrol tanpa pemberian stimulasi listrik, rata-rata kadar gula darah mengalami sedikit kenaikan dari 371,2 mg/dL menjadi 372,4 mg/dL. Sedangkan rata-rata kadar gula darah kelompok perlakuan setelah 7 hari diberi stimulasi listrik mengalami penurunan dari 355,4 mg/dL menjadi 339,4 mg/dL. Hal ini dikarenakan, stimulasi listrik bekerja dengan mengirimkan sinyal ke hipotalamus di otak, yang kemudian mempengaruhi sumbu hipotalamus-pituitari-adrenal (HPA). HPA mengatur produksi kortisol oleh kelenjar adrenal. Kortisol berfungsi meningkatkan kadar gula darah dengan merangsang produksi glukosa di hati dan menghambat penyerapan glukosa serta asam lemak oleh otot dan jaringan lemak. Dengan menurunnya produksi kortisol akibat stimulasi listrik, produksi glukosa di hati berkurang dan penyerapan glukosa

oleh otot serta jaringan lemak meningkat, yang mengakibatkan penurunan kadar gula darah (Catalogna et al., 2016).

Stimulasi listrik dan antibiotik juga dapat mempercepat proses penyembuhan luka. Penurunan luas area luka tidak hanya dipengaruhi oleh stimulasi listrik, tetapi juga dipengaruhi oleh tinggi rendahnya kadar gula darah. Menurut penelitian oleh Fainsod-Levi et al. (2017), tingginya kadar gula dapat mempengaruhi mobilitas neurofil, sel yang berperan sebagai pertahanan pertama sistem kekebalan dalam membunuh patogen dan melawan infeksi. Oleh karena itu, kadar gula darah yang tinggi cenderung menyebabkan penurunan luas area luka yang lebih kecil dibandingkan dengan kadar gula darah yang rendah.

Alat elektrostimulator yang digunakan dalam penelitian ini memiliki dua kutub, yaitu kutub positif (anoda) dan kutub negatif (katoda) yang ditempatkan pada sisi luka mencit. Hasil perkembangan kondisi luka yang tertera pada tabel 4.7, 4.8, dan 4.9 menunjukkan perubahan yang signifikan pada kelompok perlakuan daripada kelompok kontrol. Pada kelompok perlakuan, hari keempat terlihat banyak perubahan yaitu luka mengering, menutup, dan panjangnya berkurang dibandingkan dengan kelompok kontrol yang terlihat rata-rata luka belum terdapat perubahan sepenuhnya. Stimulasi listrik merupakan metode pengobatan yang bekerja dengan mengirimkan pulsa listrik ke dalam tubuh (Engler et al., 2022). Tubuh memiliki sistem bioelektrik yang berperan dalam penyembuhan luka, perbaikan sel, dan mempengaruhi permeabilitas membran sel. Ketika terjadi kerusakan kulit, arus yang dikenal sebagai *current of injury* dihasilkan antara kulit dan jaringan dalam (Rahmawati et al., 2009). Kombinasi dari arus bioelektrik tubuh dan stimulasi listrik eksternal telah banyak digunakan untuk penyembuhan luka

dengan merangsang aktivitas sel dan memperbaiki jaringan yang rusak. Stimulasi listrik dapat mempercepat penyembuhan luka melalui beberapa mekanisme, termasuk peningkatan produksi ATP di dalam sel. ATP berperan krusial dalam berbagai fungsi seluler seperti sintesis protein, transport membran, dan mekanisme transport aktif seperti pompa natrium-kalium, yang menjaga keseimbangan ion dalam sel. Ketika sel jaringan mengalami kerusakan, fungsi pompa natrium terganggu, menyebabkan ketidakseimbangan ion yang dapat menghambat penyembuhan. Stimulasi listrik membantu memulihkan fungsi pompa natrium, meningkatkan aktivitas mitokondria, dan dengan demikian meningkatkan produksi ATP. Peningkatan ATP ini mengembalikan fungsi transport aktif membran, memungkinkan aliran nutrisi yang diperlukan untuk regenerasi dan pembentukan jaringan sehat (Rahmawati, 2009).

Proses fisiologis penyembuhan luka secara alami melalui tiga fase inflamasi, fase proliferasi, dan fase remodeling atau maturasi. Fase inflamasi (0-5 hari) bertujuan untuk membersihkan luka dari patogen, sel mati, dan debris serta mempersiapkan luka untuk fase berikutnya. Fase proliferasi (2-21 hari) ditandai dengan peran dominan fibroblast (Rahmawati et al., 2009). Berdasarkan hasil pengamatan histopatologi yang disajikan pada tabel 4.10 dan 4.11, kelompok kontrol tidak menunjukkan keberadaan fibroblast dan terdapat banyak makrofag. Hal ini terjadi karena kelompok kontrol tidak menerima perlakuan khusus yang dapat mempercepat proses penyembuhan luka, sehingga masih berada dalam fase inflamasi. Makrofag adalah sel yang berperan pada fase inflamasi dan proliferasi, dimana mereka mengeluarkan berbagai produk biologis aktif setelah diaktifkan. Makrofag berfungsi sebagai fagosit yang membersihkan daerah luka dan dari

debris. Oleh karena itu, fibroblast belum muncul pada kelompok kontrol karena masih dalam tahap persiapan sebelum masuk ke fase proliferasi. Sebaliknya, kelompok perlakuan menunjukkan banyak fibroblast dan sedikit makrofag, menandakan bahwa kelompok perlakuan telah memasuki fase proliferasi. Dalam fase ini, makrofag berperan merangsang fibroblast untuk menghasilkan kolagen dan komponen matriks ekstraseluler yang diperlukan dalam proses penyembuhan luka. Seiring berjalannya waktu, jumlah makrofag akan berkurang saat luka mulai menutup (Suhariyanto, 2011). Fibroblast memegang peranan penting dalam fase proliferasi. Fibroblast memiliki kemampuan kontraktile yang disebut miofibril, yang menyebabkan tepi luka saling mendekat, sehingga kedua tepi luka dapat menyatu. Dengan berjalannya proses penyembuhan, jumlah fibroblast akan terus meningkat (Napanggala et al., 2014). Oleh karena itu, jumlah fibroblast pada kelompok perlakuan lebih banyak dibandingkan dengan jumlah makrofag.

Stimulasi listrik dan antibiotik juga merupakan metode yang efektif apabila dikombinasikan untuk mempercepat proses penyembuhan luka. Stimulasi listrik berperan dalam meningkatkan proliferasi sel yang penting untuk regenerasi jaringan. Sedangkan antibiotik yang mengandung senyawa yang berperan dalam penyembuhan luka dengan beberapa mekanisme seluler, termasuk peningkatan pembentukan jaringan. Kombinasi keduanya menciptakan kondisi optimal untuk mempercepat proses penyembuhan luka secara menyeluruh.

4.3 Bakteri dan Pengobatan dalam Perspektif Islam

Salah satu bakteri yang paling sering ditemukan sebagai penyebab luka pada penderita diabetes adalah *Pseudomonas aeruginosa*. Bakteri ini merupakan bakteri Gram negatif berbentuk batang yang tumbuh pada suhu optimal 42 °C. Dalam Al-

Qur'an, Allah memberikan isyarat tentang keberadaan makhluk yang sangat kecil termasuk mikroorganisme, seperti yang terdapat dalam Al-Qur'an surat Al-Baqarah ayat 26:

إِنَّ اللَّهَ لَا يَسْتَحْيِي ۖ أَن يَضْرِبَ مَثَلًا مَّا بَعُوضَةً فَمَا فَوْقَهَا

Artinya: "Sesungguhnya Allah tidak segan membuat perumpamaan berupa seekor nyamuk atau yang lebih kecil daripada itu, ..." (Q.S Al-Baqarah: 26).

Ahmad Mustafa al-Maraghi menjelaskan bahwa kata فما فوقها mengacu pada sesuatu yang lebih kecil dari nyamuk, yakni makhluk yang ukurannya sangat kecil hingga tidak bisa dilihat tanpa bantuan alat pembesar, seperti mikroskop. Contohnya adalah bakteri, yang tidak terlihat oleh mata telanjang dan hanya dapat diamati melalui mikroskop. Penafsiran ini menunjukkan makhluk-makhluk mikroskopis yang tidak dapat dilihat dengan mata telanjang (Ath-Thabari, 2011).

Tumbuhnya bakteri *Pseudomonas aeruginosa* menyebabkan luka sulit untuk sembuh apabila tidak diberi pengobatan. Allah SWT adalah penyembuh dari segala penyakit dan keraguan. Kesembuhan terbagi menjadi dua jenis: kesembuhan maknawi (rohani), yaitu kesembuhan dan penyakit hati, dan kesembuhan yang tampak secara fisik, yaitu kesembuhan tubuh. Hal ini juga dijelaskan dalam hadist Rasulullah berikut: (Al-Qahthani, 2005)

عَنْ عُبَيْدَةَ بْنِ الْعَبْدِ اللَّهِ بْنِ عَتَابٍ قَالَ: كُنْتُ جَالِسًا عِنْدَ رَسُولِ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ فَجَاءَتْ عَشِيرَةٌ مِنَ الْعَرَبِ فَسَأَلُوا رَسُولَ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ قَالُوا: «يَا رَسُولَ اللَّهِ، نَتَدَاوَى؟» قَالَ: «نَعَمْ، يَا عِبَادَ اللَّهِ، تَدَاوُوا، فَإِنَّ اللَّهَ تَعَالَى لَمْ يَنْزِلْ دَاءٌ إِلَّا أَنْزَلَ لَهُ شِفَاءً، غَيْرَ دَاءٍ وَاحِدٍ» قَالُوا: «وَمَا هُوَ؟» قَالَ: «الْهَرَمُ»

Artinya: "Aku pernah berada di samping Rasulullah, lalu datanglah serombongan Arab dusun. Mereka bertanya, 'Wahai Rasulullah, bolehkah kami berobat?' Beliau

menjawab: 'Iya, wahai para hamba Allah, berobatlah. Sebab Allah tidaklah meletakkan sebuah penyakit melainkan meletakkan pula obatnya, kecuali satu penyakit.' Mereka bertanya: 'Penyakit apa itu?' Beliau menjawab: 'Penyakit tua' (HR. Tirmidzi).

Hadist ini menjelaskan bahwa Rasulullah SAW menganjurkan kita untuk berobat ketika sakit, karena Allah SWT tidak menurunkan penyakit tanpa menyertakan obatnya. Satu-satunya penyakit yang tidak memiliki obat adalah penuaan (الْمَرَمُ). Hadis ini mengajarkan pentingnya menggabungkan usaha medis dengan keyakinan bahwa segala sesuatu, termasuk penyakit dan penyembuhannya, berada dalam kehendak dan kebijaksanaan Allah SWT. Oleh karena itu, luka diabetes dapat diobati. Dalam penelitian ini, alat yang digunakan adalah stimulasi listrik dan pemberian antibiotik, yang seluruhnya diaplikasikan pada luka penderita diabetes untuk mempercepat proses penyembuhan luka, selaras dengan keyakinan bahwa usaha pengobatan adalah bagian dari takdir yang Allah tetapkan. Hal ini sesuai dengan hadist berikut:

لِكُلِّ دَاءٍ دَوَاءٌ، فَإِذَا أُصِيبَ دَوَاءُ الدَّاءِ بَرَأَ بِإِذْنِ اللَّهِ

Artinya: “Setiap penyakit ada obatnya, dan ketika obat itu sesuai dengan penyakitnya, maka akan sembuh dengan izin Allah” (HR. Muslim).

Hadist ini dengan jelas menunjukkan bahwa setiap penyakit pasti memiliki obat, bahkan untuk penyakit yang mematikan sekalipun, karena segala sesuatu memiliki penawarnya. Namun, seringkali kita melihat orang yang berobat tetapi tidak juga sembuh. Hal ini biasanya disebabkan oleh ketidaktahuan terhadap obat yang tepat untuk penyakit tersebut atau metode pengobatan yang kurang tepat, seperti dosis yang berlebihan sehingga dapat memperburuk kondisi, atau dosis yang terlalu rendah sehingga tidak efektif. Ini bukan berarti bahwa penyakit tersebut tidak memiliki penawar (Badrudin, 2019). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan

untuk mengetahui metode dan dosis yang tepat dalam mempercepat proses penyembuhan luka diabetes. Hasil penelitian menunjukkan bahwa stimulasi listrik dan antibiotik efektif dalam mempercepat proses penyembuhan luka pada penderita diabetes. Kombinasi kedua metode ini meningkatkan efektivitas pengobatan menggunakan stimulasi listrik dengan tegangan berpulsa yang telah ditentukan terbukti dapat membunuh bakteri dan mempercepat proses regenerasi jaringan, sementara antibiotik yang mengandung bahan herbal alami terbukti dapat mempercepat peningkatan pembentukan jaringan. Metode ini secara keseluruhan dapat meningkatkan hasil pengobatan luka pada penderita diabetes.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai efek stimulasi listrik dan pemberian antibiotik terhadap pertumbuhan bakteri *Pseudomonas aeruginosa* dan penyembuhan luka pada mencit (*Mus mukul*) dengan diabetes melitus, dapat disimpulkan bahwa:

1. Tegangan pulsa stimulasi listrik dan pemberian antibiotik terbukti berpengaruh dalam menurunkan jumlah koloni bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. Semakin tinggi tegangan pulsa yang diberikan, semakin signifikan penurunan jumlah koloni bakteri. Tegangan pulsa 80 V merupakan tegangan yang paling optimal, dengan penurunan jumlah bakteri sebesar $23,33 \times 10^3$ CFU/mL.
2. Waktu paparan stimulasi listrik dan antibiotik juga berpengaruh pada penurunan jumlah koloni bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. Semakin lama waktu paparan yang diberikan, semakin signifikan penurunan jumlah koloni bakteri. Waktu paparan selama 15 menit adalah waktu yang optimal dalam menurunkan jumlah koloni bakteri.
3. Stimulasi listrik dengan tegangan pulsa 80 V selama 15 menit dan pemberian antibiotik 0,1 mL mampu mempercepat proses penyembuhan luka pada mencit dengan diabetes melitus. Rata-rata panjang luka pada kelompok kontrol pada hari ketujuh $\pm 0,8$ cm, sedangkan pada kelompok perlakuan rata-rata panjang luka pada hari ketujuh $\pm 0,4$ cm. Pengamatan histopatologi pada luka mencit menunjukkan bahwa pada kelompok kontrol

memiliki banyak makrofag (sel radang) dan sedikit fibroblast, sedangkan kelompok perlakuan menunjukkan jumlah makrofag (sel radang) yang lebih sedikit dan jumlah fibroblast yang lebih banyak.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh penulis, maka saran yang diberikan adalah:

1. Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian harus dalam keadaan bersih dan steril untuk mencegah kontaminasi oleh bakteri lain.
2. Diperlukan penelitian lanjutan mengenai kombinasi antara stimulasi listrik dan berbagai jenis antibiotik, serta variasi dosis antibiotik guna mengidentifikasi kombinasi yang lebih efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri dan mempercepat proses penyembuhan luka.
3. Diperlukan pengamatan lanjutan terhadap preparat histopatologi untuk mengamati jaringan lain yang terlibat dalam proses penyembuhan luka.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, Mikrajuddin. 2017. Fisika dasar II. Bandung: *ITB*.
- Al-Qahthani, Sa'id bin 'Ali bin Wahf. 2005. Syarah Asma'-Ul Husna. Jakarta: Pustaka Imam Syafi'i.
- Alsaimary IEA. Bacterial Wound Infections in Diabetic Patients and their Therapeutic Implications. *Medical Practice and Review* 2010;1(2):12-5.
- American Diabetes Association. 2017. Standars of medical care in diabetes – 2017. *Diabetes Care*, 37(1).
- Asmal, A., Parinding, I. P., & Hermansyah. (2024). Uji daya hambat antimikroba ekstrak etanol daun kitolod (*Larurentialongflora*) terhadap pertumbuhan *Pseudomonas aeruginosa*. *Jurnal Ilmu Farmasi*, 11(1), 2356-198X (p-ISSN), 2747-2655 (e-ISSN).
- Asriwati. 2017. Fisika Kesehatan dan Keperawatan. Yogyakarta: *Penerbit Deepublish*.
- Astuti, Suryani Dyah. 2015. Laporan Program Pengabdian Kepada Masyarakat pelatihan Komunitas; Pembuatan Desain Peralatan Fisika Medis di SMA Negeri 1 Pacitan. Surabaya: *Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga*.
- Ath-Thabari, Abu Ja'far Muhammad bin Jarir. 2011. Jami' Al-Bayân an-Ta'wil Ayi Al-Qur'an. Diterjemahkan oleh Ahsan Askan. Jakarta: *Pustaka Azzam*, hlm. 490.
- Badrudin, M. (2019). Berobat Menurut Islam. Jakarta: *STIT-INSIDA*.
- Bahman, D. S., Yuliet, & Ihwan. (2019). Efek Akar *Garcinia rostrata* Hassk.ex Hook.f Terhadap Penurunan Kadar Glukosa Darah Mencit Jantan (*Mus musculus*) Yang Diinduksi Aloksan. *Biocelbes*, 13(1), 21. ISSN-p: 1978-6417. ISSN-e: 2580-5991.
- Balakatounis, K. 2011. Electrical Stimulation for Wound Healing. *Advanced Wound Repair Therapies*, 1, 571-586.
- Berthelot R, Neethirajan S. Harnessing electrical energy for anti-biofilm therapies: Effect of current on cell morphology and motility. *J Exp Nanosci* 2017;12(1): 197-207.
- Bilous, R. & Donelly, R. 2015. Buku Pegangan Diabetes Edisi Ke 4. Jakarta: *Bumi Medika*.
- Catalogna, M., Doenyas-Barak, K., Sagi, R., Abu-Hamad, R., Nevo, U., Ben-Jacob, E., & Efrati, S. (2016). Effect of peripheral electrical stimulation (PES) on nocturnal blood glucose in type 2 diabetes: A randomized crossover pilot study. *PLoS ONE*, 11(12), 1–14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168805>

- Cutting KF. 2006. Electric Stimulation in the Treatment of Chronic wounds. *Wounds UK*; 2(1): 62-67
- Diehr P. E. 2014. Physical Origins of Electrical Conductivity and Resistivity. *Researchgate*.
- Engler, B., Tselmin, S., Ziehl, D., Weigmann, I., Birkenfeld, A., Bornstein, S. R., Barthel, A., Drechsel, T., Zippenfennig, C., Milani, T., & Perakakis, N. (2022). The potential of electrical stimulation and smart textiles for patients with diabetes mellitus. *Hormone and Metabolic Research*, 54(8), 583–586. <https://doi.org/10.1055/a-1892-6489>
- Fadhillah RP, Rahma R, Sepharni A, Mufidah R, Sari BN, Pangestu A. 2022. Klasifikasi Penyakit Diabetes Mellitus Berdasarkan Faktor-Faktor Penyebab Diabetes Mellitus Menggunakan Algoritma C4.5. *JUPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)*, 7, 1265-1270.
- Fainsod-Levi, T., Gershkovitz, M., Völs, S., Kumar, S., Khawaled, S., Sagiv, J. Y., ... Granot, Z. (2017). Hyperglycemia Impairs Neutrophil Mobilization Leading to Enhanced Metastatic Seeding. *Cell Reports*, 21(9), 2384–2392. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2017.11.010>
- Fitriyanti. (2021). Pengaruh Luas Permukaan Elektroda dengan Penambahan PWM Controller terhadap Efisiensi Produksi Gas Hidrogen pada Proses Elektrolisis. *Jurnal Sains Fisika*, Vol. 1, Hal. 42-52. Prodi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Alauddin Makassar.
- Geraghty T, LaPorta G. Current health and economic burden of chronic diabetic osteomyelitis. *Expert rev Pharmacoecon Outcomes Res* 2019;19(3): 279-86.
- Gusmao, I.C.C.P. Moraes P.B and Bidoia E.D. 2010. Studies on the Electrochemical Disinfection of Water Containing Escherichia coli using a Dimensionally Stable Anod, *Brazilian Archives of Biology and Thecnology*. Vol.53, N. 5: Pp. 1235-1244.
- Hutomo, A. P., Suharianingsih, S., & Astuti, S. D. 2019. Rancang Bangun Sistem Pengendali Tegangan Stimulsi Elektrostimulator Otomatis Berbasis Resistansi Tubuh. *Jurnal Biosains Pascasarjana*, 20(3), 146. <https://doi.org/10.20473/jbp.v20i3.2018.146-15>
- International Diabetes Federation. International Diabetes Federation. Vol. 102, *Diabetes Research and Clinical Practice*. 2021. 147-148 hal.
- Isana, SYL. Perilaku Sel Elektrolisis Air dengan Elektroda Stainless Steel, Prosiding Seminar Nasional Kimia dan Pendidikan Kimia. 2010, www.kimia.uny.ac.id
- Jauhari, Thanthawi. Al-Jawahir Fi Tafsir Al-Qur'an Al-Karim, Jilid 7. Beirut: *Dar Al-Kotob Al-Ilmiyah*, 2004.

- Kementerian Kesehatan RI. Infodatin; Tetap Produktif, Cegah, dan Atasi Diabetes Melitus. Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan RI. 2020. Hal. 1-10.
- Khoiriah, A. N. 2021. Uji Aktivitas Antibiofilm *Aspergillus Aculeatus* Terhadap Biofilm *Pseudomonas aeruginosa*. *Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang*.
- Krishnamurthi VR, Rogers A, Peifer J, Niyonshuti I I, Chen J, Wang Y. Microampere Electric Current Causes Bacterial Membrane Damage and Two-way Leakage in a Short Period of Time. *Appl Environ Microbiol* 2020;86 (16): e01015-20.
- Kurnianto S, Kusnanto, & Padoli, 2017, Penyembuhan Luka Bakar Pada Tikus Putih Dengan Menggunakan Ekstrak Daun Pegagan (*Centella asiatica*) 25% dan Ekstrak Daun Petai Cina (*Leucaena leucocephala*) 30%. *Jurnal Ilmiah Kesehatan*, Vol 10 No 2, Hal 250 – 255.
- Kusmaningrum NSD, Asriningrati R. 2016. Indetifikasi Risiko Diabetic Foot Ulcer (DFU) Pada Pasien dengan Diabetes Mellitus. *Universitas Diponegoro.p*. 58-63.
- Lestari, Zulkarnain&S.A. Sijid. 2021. Diabetes Melitus: Review Etiologi, Patofisiologi, Gejala, Penyebab, Cara Pemeriksaan, Cara Pengobatan dan Cara Pencegahan. *Prosiding Biologi Achieving the Sustainable Development Goals with Biodiversity in Confronting Climate Change Gowa*, 8 November 2021. Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar: 237-241.
- Levinson W. Review of Medical Microbiology and Immunology. Fourteenth Edition. (Weitz M, Kearns B, eds.). *United States of America: McGraw-Hill Education*; 2016.
- Marissa N, Ramadhan N. Kejadian Ulkus Berulang Pada Pasien Diabetes Mellitus. *SEL J Penelit Kesehat*. 2017;4(9).
- Muntasir, et al. 2021. Antibiotik dan Resistensi Antibiotik. Yogyakarta: *Rizmedia Pustaka Indonesia*.
- Muslim, C., Hawa, L. C., & Argo, B. D. (2013). Pasteurisasi Non-Termal Pada Susu Sapi Segar untuk Inaktivasi Bakteri *Staphylococcus aureus* Berbasis Pulse Electric Field (PEF). *Jurnal Keteknik Pertanian Tropis dan Biosistem*, 1(1), 35-49. Universitas Brawijaya, Malang.
- Mutia A & Abdul R. 2018. Effect of Giving Fermented Liquid Areca cathecu L and Surian Leaves (*Toona sinensis* ROXB) on Tilampia Wounds (*Oreochromis niloticus* L). *BIOSAINS* Volume 1 Number 1, pp 41 – 50 ISSN : 2534 – 8731
- Napanggala; Susianti dan Apriliana e. 2014. Pengaruh Pemberian Getah Tanaman Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.) Secara Topikal Terhadap Tingkat Kesembuhan Luka Iris Pada Tikus Putih Jantan galur *Sprague Dawley*. ISSN 2337-3776.

- Panayidou, S. & Apidianaskis, Y., 2017. *Pseudomonas aeruginosa*. In: D. Liu, ed. *Laboratory Models for Foodborne Infections*. s.l: CRC Press, pp. 373-390.
- PERKENI. 2015. Konsensus Pengelolaan dan Pencegahan Diabetes mellitus Tipe 2 di Indonesia 2015. Penerbit: *PB Perkeni*.
- PERKENI. 2019. Pedoman Pengelolaan Diabetes Melitus. Jakarta: *PERKENI*.
- PERKENI. 2021. Pedoman Pengelolaan dan Pencegahan Diabetes Mellitus Tipe 2 Dewasa di Indonesia. *PB PERKENI*.
- Ponto, Hantje. 2018. Dasar Teknik Listrik. Manado.
- Rahmawati. Arifin, Ahmad. Guritno, M. Aziz, Duti S. 2009. Pengaruh Stimulasi Arus Listrik Terhadap Pembuluh Darah dan Jaringan Ikat Fibrous pada Penyembuhan Luka. *Prosiding SENTIA*. Malang: Politeknik Negeri Malang.
- Rahmawati. Pengembangan Stimulasi Elektrik Closedloop untuk Penyembuhan Luka. *Tesis*. Surabaya: Program Magister Bidang Keahlian Elektronika Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Industri ITS; 2009.p.1,7, 17-8
- Rais H, Khasanah, Krisyanella. Uji Sensitivitas Antibakteri dari Pus Ulkus Diabetes Mellitus terhadap Antibiotika di RSUD Dr. M. Yunus. *Jurnal Sains dan Teknologi Farmasi*. 2017;19(1): 17-19.
- Riyanto, & Agustiningsih, W. A. (2018). Electrochemical disinfection of coliform and *Escherichia coli* for drinking water treatment by electrolysis method using carbon as an electrode. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 349(1).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/349/1/012053>.
- Saleh RH, Hadi BH. Bacterial Profile in Patients with Diabetic Foot Infections and its Association With TNF- α . *Plant Archives*. 2019;19(1): 222-228.
- Shihab, M. Quraish. 2009. Tafsir Al-Mishbah: Pesan, Kesan dan Keserasian Al-Qur'an. Vol 4 & 7. *Jakarta: Lentera Hati*.
- Siregar, Ika Pranita. 2020. "Aktivitas Anti Bakteri Mandi Celup Daun Binahong dalam Membantu Mengurangi Jerawat Punggung." *Home Economics Journal* 4 (2): 56-61. ISSN 2579-4272 (printed), ISSN 2579-4280 (online).
- Soleha TU. Uji Kepekaan terhadap Antibiotik. *Juke Unila*. 2015;5(9):121.
- Suhariyanto B. Antibiotik Topikal Untuk Penyakit Kulit Pada Wisatawan. *Br J Psychiatry*. 2011;112(483):211-212. doi:10.1192/bjp.112.483.211- a
- Sukmawati E, Sari NN, Chriswinda B.M A. Hubungan Tingkat Pengetahuan Pasien Diabetes Mellitus dengan Perawatan Luka Menggunakan Teknik Modern Dressing (Studi RLS Sidoarjo). *J Ilm Keperawatan Stikes Hang Tuah Surabaya*. 2019;14(1): 35-42.

- Sulviana, Aulia Wahyu, dkk. 2017. Identifikasi *Pseudomonas aeruginosa* dan Uji Sensitivitas terhadap Antibiotik dari Sampel Pus Infeksi Luka Operasi di RSUD Dr. Moewardi. *Biomedika*. Vol. 10 No. 02.
- Thakral G, LaFontaine J, Najafi B, Talal TK, Kim P, Lavery LA. Electrical Stimulation Accelerate Wound Healing. *Diabet Foot Ankle* 2013;4.
- Triyudani M, Dina D, Ni Wayan S. 2012. Efek Pemberian Ekstrak Daun Sirih (*Piper betle* linn) Terhadap Optimalisasi Kepadatan Kolagen Luka Bakar Derajat IIA pada Tikus Putih (*Rattus norvegicus*) Strain Wistar (*Skripsi*), Fakultas Kedokteran Universitas Brawijaya, Malang.
- Ud-Din S, Bayat A. Electrical Stimulation and Cutaneous Wound Healing: A review of cilinical evidence. *Healthcare (Basel)* 2014;2(4):445-67.
- Wahyudi D, Aman AT, Handayani NSN, Soetarto ES. 2019. Differences among clinical isolates of *Pseudomonas aeruginosa* ini threir capability of forming biofilms and their susceptibility to antibiotics. *Biodiversitas* 20(5): 1450-1456. DOI: 10.13057/biodiv/d200538.
- World Health Organization. 2016. Global report on diabetes. *WHO Library Cataloguing-in-Publication Data*. ISBN 978 92 4 156525 7.
- Wulan, S. S., Saputra, M. K. F., & Marliyana. (2024). Perawatan Luka Modern pada Pasien Diabetes Mellitus. Program Studi Keperawatan, *Sekolah Tinggi Ilmu Kesehatan Baitul Hikmah*, Vol. 3, No. 2, Februari, pp. 148-152. e-ISSN: 2963-184X.
- Yoyon Suyono dan Farid Salahudin. 2011. Identifikasi dan Karakteristik Bakteri *Pseudomonas* pada Tanah Yang Terindikasi Terkontaminasi Logam. *Jurnal Biopropal Industri* Vol: 02, No. 01

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Jumlah Koloni Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*

Tegangan pulsa (V)	Antibiotik (mL)	Waktu (menit)	Jumlah Koloni Bakteri (10 ³ CFU/mL)			Rata-rata (10 ³ CFU/mL)
			1	2	3	
Kontrol	0	5	189	181	166	178,66 ± 57,33
		10	195	192	174	187 ± 56,54
		15	198	196	187	193,66 ± 54,20
50	0,1	5	169	166	153	162,66 ± 49,37
		10	177	182	142	167 ± 47
		15	146	152	125	141 ± 41,99
60		5	133	148	159	146,66 ± 38,99
		10	121	128	101	116,66 ± 31,35
		15	113	117	72	100,66 ± 26,45
70		5	87	106	65	86 ± 21,69
		10	73	85	58	72 ± 16,67
		15	51	60	41	50,66 ± 10,57
80		5	44	54	35	44,33 ± 8,60
		10	31	37	29	32,33 ± 4,5
		15	24	26	20	23,33 ± 0

Lampiran 2. Hasil Uji SPSS

1. Hasil Uji Jumlah Koloni Bakteri

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: Data					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	727759.333 ^a	15	48517.289	255.683	.000
Tegangan	140603.911	4	35150.978	185.243	.000
Waktu	3614.178	2	1807.089	9.523	.001
Tegangan * Waktu	3726.489	8	465.811	2.455	.036
Error	5692.667	30	189.756		
Total	733452.000	45			

a. R Squared = ,992 (Adjusted R Squared = ,988)

2. Hasil Uji DMRT

- Tegangan

Data						
Duncan ^{a,b}						
Tegangan	N	1	2	3	4	5
5	9	33.33				
4	9		69.56			
3	9			121.33		
2	9				156.89	
1	9					186.44
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 189,756.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9,000.
b. Alpha = 0,05.

- Waktu

Data			
Duncan ^{a,b}			
Waktu	N	1	2
3	15	101.87	
2	15		115.00
1	15		123.67
Sig.		1.000	.095

Means for groups in homogeneous subsets are displayed.
Based on observed means.
The error term is Mean Square(Error) = 189,756.
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 15,000.
b. Alpha = 0,05.

Lampiran 3. Data Hasil Pengukuran Kadar Gula Darah pada Mencit

1. Data Hasil Pengukuran Kadar Gula Darah pada Mencit Sebelum dan Sesudah Diinduksi Aloksan Monohidrat

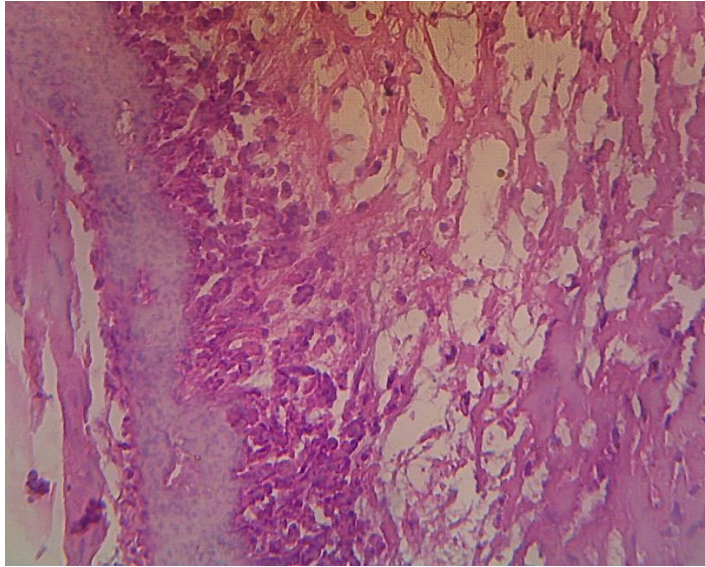
No	Kontrol			Perlakuan		
	BB	Sebelum Induksi	Sesudah Induksi	BB	Sebelum Induksi	Sesudah Induksi
1	23	129	407	22	113	408
2	25	130	373	26	142	380
3	24	87	312	24	165	320
4	21	164	402	26	118	354
5	26	154	362	28	133	315
Rata-rata	23,8	132,8	371,2	25,2	134,2	355,4

2. Data Hasil Pengukuran Kadar Gula Darah pada Mencit Sebelum dan Sesudah Perlakuan

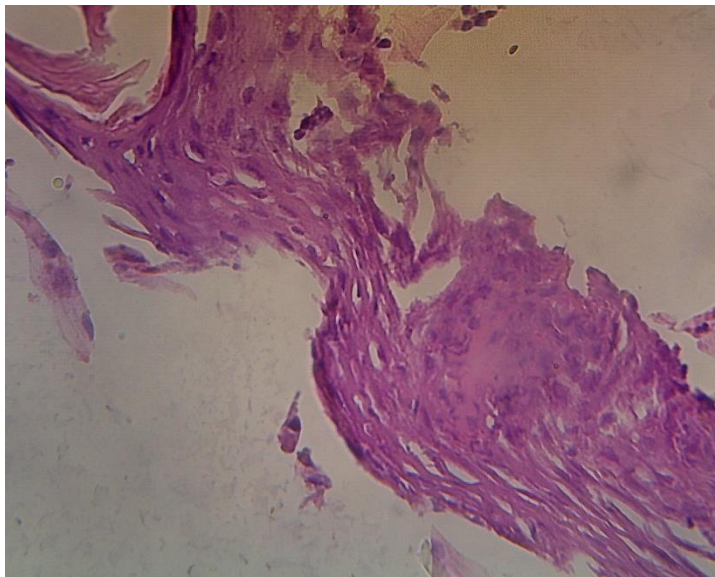
No.	Kelompok Kontrol			Kelompok Perlakuan		
	BB (gram)	Kadar Glukosa Darah (mg/dl)		BB (gram)	Kadar Glukosa Darah (mg/dl)	
		Awal	Akhir		Sebelum Perlakuan	Sesudah Perlakuan
1	23	407	398	22	408	382
2	25	373	369	26	380	364
3	24	312	325	24	320	311
4	21	402	395	26	354	332
5	26	362	375	28	315	308
Rata-rata	23,8	371,2	372,4	25,2	355,4	339,4

Lampiran 4. Hasil Preparat Histopatologi Luka Mencit Diabetes

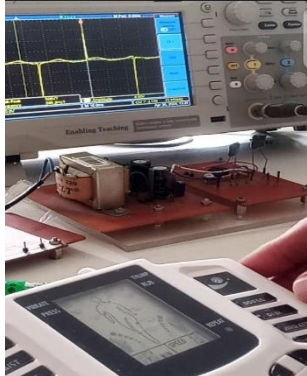
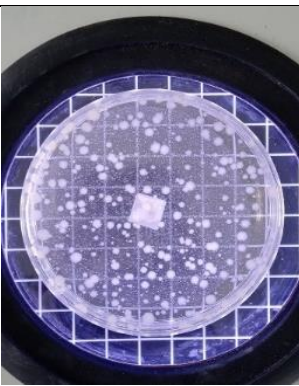
1. Kelompok Kontrol

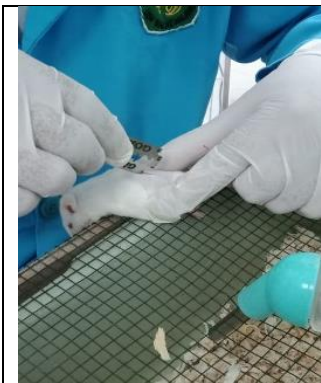
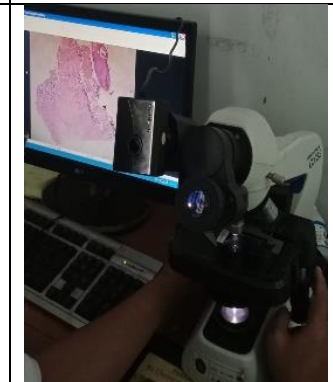


2. Kelompok Perlakuan



Lampiran 5. Dokumentasi

		
Kalibrasi Alat Stimulasi Listrik	Bakteri <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Pemberian Stimulasi Listrik pada Kulit Sapi
		
Pengenceran Bakteri	Perhitungan Koloni Bakteri	Penimbangan Berat Badan Mencit
		
Induksi Mencit dengan Aloksan Monohidrat	Pengukuran Kadar Gula Darah pada Mencit	Induksi Anestesi Mencit dengan Lidocaine 2%

		
Pemberian Luka Sayat pada Punggung Mencit	Pemberian Stimulasi Listrik pada Mencit	Antibiotik Biokatan
		
Pengambilan Sampel luka untuk Preparat Histopatologi	Sampel Preparat Histopatologi Luka Mencit	Pengamatan Preparat Histopatologi Luka Mencit

Lampiran 6. Surat Keterangan Kelaikan Etik



KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
KOMISI ETIK PENELITIAN
Jalan Gajayana No. 50 Malang 65144 Telp./ Fax. (0341) 558933

KETERANGAN KELAIKAN ETIK (ETHICAL CLEARANCE)

Nomor. 02/EC/KEP-FST/2024

KOMISI ETIK PENELITIAN FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI UIN MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG TELAH MEMPELAJARI DENGAN SEKSAMA RANCANGAN PENELITIAN YANG DIUSULKAN:

Judul : Efek Stimulasi Listrik dan Antibiotik Terhadap Pertumbuhan Bakteri *Pseudomonas aeruginosa* pada Luka Mencit (*Mus mucus*) Diabetes Melitus

Peneliti : Nurul Wulandari

Unit/ Lembaga : UIN Maulana Malik Ibrahim Malang

Tempat Penelitian : Laboratorium Biofisika dan Laboratorium Riset Fisika Program Studi Fisika UIN Maulana Malik Ibrahim Malang

DENGAN INI MENYATAKAN BAHWA PENELITIAN TERSEBUT **TELAH MEMENUHI SYARAT ATAU LAIK ETIK**

Malang, 19 Januari 2024
Ketua Komisi Etik



Bayyinatul Muchtaromah, M. Si
NIP. 19710919 200003 2 001



JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 200604110030
Nama : NURUL WULANDARI
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan : FISIKA
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO,M.Si
Dosen Pembimbing 2 : RUSLI,M.Si
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : EFEK STIMULASI LISTRIK DAN ANTIBIOTIK TERHADAP PERTUMBUHAN BAKTERI Pseudomonas aeruginosa PADA LUKA MENCIT (Mus musculus) DIABETES MELLITUS

IDENTITAS BIMBINGAN

No	Tanggal Bimbingan	Nama Pembimbing	Deskripsi Proses Bimbingan	Tahun Akademik	Status
1	20 Oktober 2023	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO,M.Si	Konsultasi pengajuan judul skripsi	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
2	23 Oktober 2023	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO,M.Si	Konsultasi BAB I	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
3	20 November 2023	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO,M.Si	Konsultasi BAB I, II, III	Ganjil 2023/2024	Sudah Dikoreksi
4	05 Februari 2024	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO,M.Si	Revisi proposal skripsi dan konsultasi penelitian	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
5	15 April 2024	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO,M.Si	Konsultasi penelitian	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
6	03 Juni 2024	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO,M.Si	Konsultasi Penelitian	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
7	24 Juni 2024	RUSLI,M.Si	Konsultasi Integrasi Al-Qur'an	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
8	14 Agustus 2024	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO,M.Si	Konsultasi BAB VI	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
9	27 Agustus 2024	RUSLI,M.Si	Konsultasi Integrasi	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
10	29 Agustus 2024	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO,M.Si	Konsultasi Bab IV dan V	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui

Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

RUSLI,M.Si

Malang

Dosen Pembimbing 1

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

