

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

SKRIPSI

Oleh:
RO'IMATUL FARIDA
NIM. 200604110012



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

**EFEK STIMULASI LISTRIK DAN ANTIBIOTIK TERHADAP
PERTUMBUHAN BAKTERI *Staphylococcus aureus* PADA LUKA MENCIT
(*Mus musculus*) 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:
RO'IMATUL FARIDA
NIM. 200604110012**

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

HALAMAN PERSETUJUAN

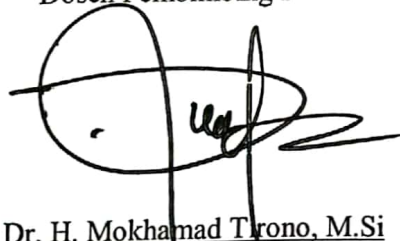
EFEK STIMULASI LISTRIK DAN ANTIBIOTIK TERHADAP
PERTUMBUHAN BAKTERI *Staphylococcus aureus* PADA LUKA MENCIT
(*Mus mucus*) DIABETES MELITUS

SKRIPSI

Oleh:
RO'IMATUL FARIDA
NIM. 200604110012

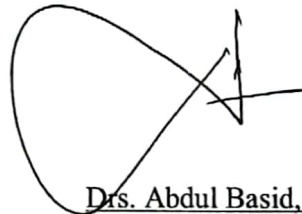
Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji
Pada tanggal, 14 Oktober 2024

Dosen Pembimbing I



Prof. Dr. H. Mokhammad Trono, M.Si
NIP.19641211 199111 1 001

Dosen Pembimbing II



Drs. Abdul Basid, M. Si
NIP.19650504 199003 1 003

Mengetahui,
Ketua Program Studi



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

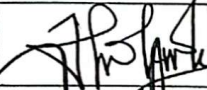
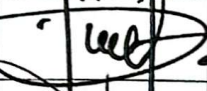
HALAMAN PENGESAHAN

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

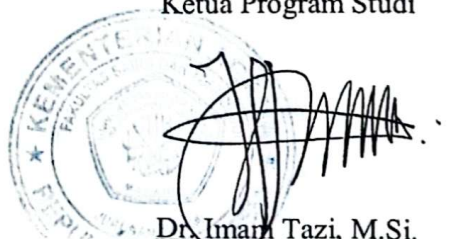
SKRIPSI

Oleh:
RO'IMATUL FARIDA
NIM. 200604110012

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi dan
Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Pada Tanggal, 14 Oktober 2024

Penguji Utama	<u>Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes</u> NIP. 19750808 199903 1 003	
Ketua Penguji	<u>Utiya Hikmah, M.Si.</u> NIP. 19880605 202321 2 054	
Sekretaris Penguji	<u>Prof. Dr. H. Mokhammad Tirono, M.Si.</u> NIP. 19641211 199111 1 001	
Anggota Penguji	<u>Drs. Abdul Basid, M. Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	

Mengesahkan,
Ketua Program Studi


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

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ro'imatul Farida
NIM : 2006041100012
Jurusan : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi
Judul Penelitian : Efek Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus* Pada Luka Mencit (*Mus musculus*) Diabetes Melitus

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

Malang, 20 September 2024
Yang Membuat Pernyataan,

Ro'imatul Farida
NIM. 200604110012

MOTTO

*“Keberhasilan bukanlah milik orang pintar, keberhasilan adalah milik mereka yang
senantiasa berusaha”*

(BJ Habibie)

*“Janganlah takut jatuh, karena yang tidak pernah memanjatlah yang tidak pernah jatuh.
Jangan takut gagal, karena yang tidak pernah gagal hanyalah orang-orang yang tidak
pernah melangkah. Dan jangan takut salah, karena dengan kesalahan yang pertama kita
dapat menambah pengetahuan untuk mencari jalan yang benar pada langkah yang
kedua”*

(Buya Hamka)

*“ God have perfect timing, never early, never late. It takes a little patience and it take a
lot of faith, but it's a worth the wait”*

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji bagi Allah SWT atas limpahan rahmat, taufiq, hidayah, dan inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Sholawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada Baginda Nabi Muhammad SAW yang membawa dan menerangi hati kita, menjadi cahaya bagi segala perbuatan mulia. Semoga kita senantiasa mendapatkan syafaatnya *fii yaumil qiyamah*. Skripsi ini penulis persembahkan untuk:

1. Pintu surgaku, Ibunda **Mistik Wiani**. Terima kasih sebesar-besarnya penulis berikan kepada beliau atas segala bentuk bantuan, semangat, dan doa yang tak pernah henti dilangitkan. Terima kasih untuk selalu berada di sisi penulis dan menjadi alasan bagi penulis dalam menyelesaikan penulisan skripsi ini hingga memperoleh gelar sarjana.
2. Ayahanda tercinta, **Suwarto**, sosok pekerja keras yang selalu berjuang tanpa mengenal lelah. Terima kasih atas setiap tetes keringat dalam setiap langkah pengorbanan dan kerja keras yang dilakukan demi memberikan yang terbaik kepada penulis. Terima kasih pula atas dukungan dan doa yang senantiasa menyertai, sehingga penulis mampu melangkah setapak demi setapak dalam meraih mimpi di masa depan.
3. Adikku, **Ahmad Adi Danuarta**. Terima kasih atas keceriaan dan semangat yang selalu diberikan kepada penulis.
4. Terima kasih penulis ucapkan kepada dosen pembimbing, Bapak **Prof. Dr. H. M. Tirono, M. Si** dan Bapak **Drs. Abdul Basid, M. Si** atas bimbingan, ilmu, dedikasi, serta arahan yang telah diberikan selama proses penyusunan skripsi ini, sehingga penulis mampu menyelesaikannya dengan baik.

5. Sahabat seperjuangan, **Nurul Wulandari**, terima kasih telah menjadi teman setia dalam setiap langkah perjalanan ini. Terima kasih sudah berjuang bersama, melewati setiap suka dan duka, serta menghadapi berbagai tantangan yang tidak mudah hingga akhirnya kita sampai di titik ini. Sekali lagi, terima kasih atas semua dukungan dan kebersamaannya selama ini. *See u on top, lan!*
6. Sahabat tercinta, **Sekarayu Kuncoro Putri** dan **Sonia Ohid Andarista**. Terima kasih sudah menjadi saudara tak sedarah yang masih bertahan hingga saat ini. Terima kasih selalu menjadi garda terdepan dalam setiap langkah penulis, menjadi pendengar yang baik, dan tidak pernah meninggalkan penulis dalam kondisi apapun. Terima kasih karena selalu ada di masa-masa sulit penulis. *Love you guys!*
7. Rekan-rekan mahasiswa program studi Fisika angkatan 2020, terima kasih atas dukungan dan kerjasamanya selama menempuh pendidikan di bangku perkuliahan ini.
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah banyak membantu memberikan pemikiran demi kelancaran dan keberhasilan dalam penyusunan skripsi ini.
9. *Last but not least*, untuk diri saya sendiri, **Ro'imatul Farida**. Apresiasi sebesar-besarnya karena telah bertanggung jawab menyelesaikan apa yang telah dimulai. Terima kasih atas kerja keras dan ketekunan yang telah dilakukan sejauh ini. Mampu mengendalikan diri di tengah berbagai tekanan dan tak pernah memilih untuk menyerah seberat apapun masalah yang dihadapi. Terima kasih sudah kuat dan bertahan hingga di titik ini. Selamat atas keberhasilanmu dalam meraih gelar sarjana, **S.Si**.

KATA PENGANTAR

Assalamu 'alaikum Wr. Wb.

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, Tuhan Semesta Alam, atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Efek Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus* pada Luka Mencit (*Mus musculus*) Diabetes Melitus** sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si). Shalawat serta salam senantiasa tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, sahabat, dan seluruh pengikutnya hingga akhir zaman, yang telah membawa kita dari zaman kegelapan menuju cahaya iman dan ilmu pengetahuan.

Penulisan skripsi ini tentunya tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat dan penghargaan, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainnuddin, M.A., 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. M. Tirono, M.Si dan Drs. Abdul Basid, M.Si selaku Dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan bimbingan serta sarannya sehingga skripsi dapat terselesaikan.

5. Dr. H. Agus Mulyono, M. Kes dan Uthiya Hikmah M.Si selaku dosen penguji skripsi yang telah bersedia meluangkan waktunya dan memberikan kritikan serta sarannya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.
6. Segenap Dosen, Laboran dan Admin Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah bersedia mengamalkan ilmunya dan memberikan pengarahan serta membantu selama proses skripsi.
7. Teman-teman program studi Fisika angkatan 2020 yang senantiasa memberikan dukungan dan bantuan selama masa perkuliahan dan proses penulisan skripsi ini.
8. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa mendatang. Penulis berharap semoga penelitian skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca. *Aamiin.*

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang, 20 September 2024

Penulis

Ro'imatul Farida
NIM. 200604110012

DAFTAR ISI

COVER	i
HALAMAN PENGANTAR	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii
مستخلص البحث	xviii
 BAB I PENDAHULUAN	 1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	8
1.3 Tujuan Penelitian	8
1.4 Manfaat Penelitian	9
1.5 Batasan Masalah	9
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	 10
2.1 Diabetes Melitus	10
2.1.1 Definisi Diabetes Melitus	10
2.2.2 Klasifikasi Diabetes Melitus	11
2.2 Ulkus Diabetes	12
2.2.1 Mekanisme Masuknya Bakteri.....	13
2.3 <i>Staphylococcus aureus</i>	15
2.3.1 Definisi <i>Staphylococcus aureus</i>	15
2.3.2 Klasifikasi dan Morfologi <i>Staphylococcus aureus</i>	15
2.3.3 Patogenesis <i>Staphylococcus aureus</i>	17
2.3.4 Mekanisme Infeksi	19
2.4 Stimulasi Listrik.....	20
2.4.1 Elektrostimulator	21
2.4.2 Arus Listrik	22
2.5 Efek Stimulasi Listrik terhadap Kematian Bakteri	24
2.5.1 Efek Termal	24
2.5.2 Elektrolisis	27
2.6 Efek Stimulasi Listrik terhadap Penyembuhan Luka	29
2.7 Antibiotik.....	30
 BAB III METODE PENELITIAN	 32
3.1 Jenis Penelitian	32

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	32
3.3 Alat dan Bahan	32
3.3.1 Alat Penelitian	32
3.3.2 Bahan Penelitian	33
3.4 Rancangan Penelitian	33
3.5 Prosedur Penelitian	36
3.5.1 Sterilisasi	36
3.5.2 Pembuatan Media NA (<i>Nutrien Agar</i>)	36
3.5.3 Penumbuhan Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i>	36
3.5.4 Penyiapan Sampel Kulit Sapi	37
3.5.5 Perlakuan Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Kulit Sapi	37
3.5.6 Perhitungan Jumlah Koloni Bakteri	38
3.5.7 Persiapan Hewan Uji	38
3.5.8 Induksi Aloksan pada Mencit	39
3.5.9 Pengukuran Kadar Glukosa Darah	40
3.5.10 Pembuatan Luka Sayat	40
3.5.11 Perlakuan Stimulasi Listrik dan Antibiotik pada Mencit	40
3.5.12 Pengamatan Visual	41
3.5.13 Pengamatan Preparat Histopatologi	41
3.6 Teknik Pengolahan Data	42
3.7 Teknik Analisis Data	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	46
4.1 Data Hasil Penelitian	46
4.1.1 Pengaruh Tegangan Pulsa Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Pertumbuhan Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i>	46
4.1.2 Pengaruh Waktu Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Pertumbuhan Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i>	51
4.1.3 Pengaruh Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Kondisi Luka Mencit Diabetes Melitus	53
4.2 Pembahasan	62
4.3 Integrasi Al Quran.....	75
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	78
5.1 Kesimpulan	78
5.2 Saran	79
DAFTAR PUSTAKA.....	80
LAMPIRAN	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Bakteri <i>Stapylococcus aureus</i>	15
Gambar 2.2	Elektrostimulator	21
Gambar 2.3	Simbol Hambatan Listrik	24
Gambar 3.1	Diagram Alir Penonaktifan Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i>	34
Gambar 3.2	Diagram Alir Pemberian Stimulasi Listrik dan Antibiotik pada Mencit	35
Gambar 4.1	Pengaruh Tegangan Pulsa Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Pertumbuhan Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i>	49
Gambar 4.2	Pengaruh Waktu Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Pertumbuhan Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i>	51

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Data Jumlah Koloni Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i>	42
Tabel 3.2	Uji Kadar Gula pada Mencit Sebelum dan Sesudah Penelitian	43
Tabel 3.3	Pengolahan Data Panjang dan Lebar Luka Mencit	43
Tabel 3.4	Hasil Pengamatan Visual terhadap Warna Luka, Luka Kering, dan Pembentukan Keropeng.	44
Tabel 3.5	Hasil Pengamatan Histopatologi	45
Tabel 4.1	Tegangan Pulsa Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Pertumbuhan Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i>	47
Tabel 4.2	Hasil Uji Faktorial pada Jumlah Koloni Bakteri.....	50
Tabel 4.3	Hasil Uji DMRT Tegangan terhadap Jumlah Koloni Bakteri.....	50
Tabel 4.4	Hasil Uji Faktorial pada Jumlah Koloni Bakteri.....	52
Tabel 4.5	Hasil Uji DMRT Waktu terhadap Jumlah Koloni Bakteri.....	53
Tabel 4.6	Hasil Uji Kadar Gula Darah Mencit Sebelum dan Sesudah Pemberian Stimulasi Listrik.....	54
Tabel 4.7	Pengamatan Perkembangan Luka pada Mencit Diabetes	56
Tabel 4.8	Hasil Pengamatan Visual terhadap Warna Luka, Luka Kering, dan Pembentukan Keropeng	58
Tabel 4.9	Pengukuran Panjang dan Lebar Luka Mencit selama 7 Hari	59
Tabel 4.10	Hasil Pengamatan Preparat Histopatologi	61
Tabel 4.11	Hasil Penilaian Parameter pada Preparat	61

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Hasil Jumlah Koloni Bakteri <i>Staphylococcus aureus</i>	88
Lampiran 2 Data Hasil Kadar Glukosa Darah Mencit (<i>Mus musculus</i>).....	89
Lampiran 3 Hasil Analisis Statistik.....	90
Lampiran 4 Hasil Preparat Histopatologi.....	91
Lampiran 5 Dokumentasi Penelitian.....	92
Lampiran 6 Surat Keterangan Kelaikan Etik.....	94

ABSTRAK

Farida, Ro'imatul. 2024. **Efek Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus* 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. M. Tirono, M.Si, (II) Drs. Abdul Basid, M.Si

Kata Kunci: Stimulasi listrik, Bakteri *Staphylococcus aureus*, Diabetes Melitus, Mencit.

Luka pada penderita diabetes melitus rentan terhadap infeksi yang disebabkan oleh bakteri patogen, seperti *Staphylococcus aureus*. Infeksi ini dapat menghambat proses penyembuhan luka serta dapat meningkatkan risiko komplikasi serius, seperti amputasi. Terapi stimulasi listrik, seperti *Electrical Muscular Stimulation* (EMS) telah terbukti efektif dalam mempercepat proses penyembuhan luka. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh stimulasi listrik dan antibiotik terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* serta efektivitasnya dalam mempercepat penyembuhan luka pada mencit diabetes. Metode yang digunakan pada penelitian ini bersifat eksperimental dengan menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Parameter pengamatan meliputi penurunan jumlah koloni bakteri, dan perkembangan luka sayat pada mencit yang menderita diabetes. Stimulasi listrik diterapkan dengan tegangan pulsa 50, 60, 70, dan 80 Volt, serta durasi stimulasi selama 5, 10, dan 15 menit, disertai pemberian antibiotik sebanyak 0,1 ml. Hasil penelitian menunjukkan bahwa stimulasi listrik dan antibiotik berpengaruh signifikan terhadap penurunan pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* hingga 87% dengan tegangan optimum 80 Volt serta durasi waktu 15 menit. Selain itu, stimulasi listrik dan antibiotik mempercepat proses penyembuhan luka pada mencit, terlihat dari penurunan ukuran luka dan peningkatan jumlah makrofag dalam jaringan histopatologi yang menunjukkan bahwa luka telah memasuki fase proliferasi penyembuhan.

ABSTRACT

Farida, Ro'imatul. 2024. **The Effect of Electrical Stimulation and Antibiotics on the Growth of *Staphylococcus aureus* Bacteria in Wounds of Mice (*Mus musculus*) with Diabetes Melius**. Thesis. Department of Physics, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang. Advisor: (I) Prof. Dr. H. M. Tirono, M.Si (II) Drs. Abdul Basid, M.Si

Keywords: Electrical Stimulation, *Staphylococcus aureus* Bacteria, Diabetes Mellitus, Mice.

Wounds in patients with diabetes mellitus are prone to infections caused by pathogenic bacteria, such as *Staphylococcus aureus*. These infections can inhibit the wound healing process and can increase the risk of serious complications, such as amputation. Electrical stimulation therapy, such as Electrical Muscular Stimulation (EMS) has been proven effective in accelerating the wound healing process. This study aims to determine the effect of electrical stimulation and antibiotics on the growth of *Staphylococcus aureus* bacteria and their effectiveness in accelerating wound healing in diabetic mice. The method used in this research is experimental using a completely randomised design (RAL). The observation parameters included a decrease in the number of bacterial colonies, and the development of incision wounds in mice suffering from diabetes. Electrical stimulation was applied with pulse voltages of 50, 60, 70, and 80 Volts, and stimulation durations of 5, 10, and 15 minutes, accompanied by the administration of 0.1 ml of antibiotics. The results showed that electrical stimulation and antibiotics had a significant effect on reducing the growth of *Staphylococcus aureus* bacteria up to 87% with an optimum voltage of 80 Volts and a time duration of 15 minutes. In addition, electrical stimulation and antibiotics accelerate the wound healing process in mice, as seen from the decrease in wound size and the increase in the number of macrophages in histopathological tissue which indicates that the wound has entered the proliferation phase of healing.

مستخلص البحث

فريدة، راعيماتول. 2024. تأثير التحفيز الكهربائي والمضادات الحيوية على نمو بكتيريا المكورات العنقودية الذهبية في الفئران الجرح (Mus musculus) من داء السكري. بحث جامعي. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف (I): الدكتور الحاج.م. تيرونو، الماجستير، والمشرف (II) الدكتور عبد الباسط، الماجستير

الكلمة الرئيسية: التحفيز الكهربائي، بكتيريا المكورات العنقودية الذهبية، داء السكري، الفئران.

الجروح في الأشخاص المصابين بداء السكري عرضة للعدوى التي تسببها البكتيريا المسببة للأمراض، مثل المكورات العنقودية الذهبية. يمكن أن تعيق هذه العدوى عملية التئام الجرح ويمكن أن تزيد من خطر حدوث مضاعفات خطيرة، مثل البتر. ثبت أن العلاج بالتحفيز الكهربائي، مثل التحفيز الكهربائي للعضلات (EMS) فعال في تسريع عملية التئام الجروح. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد تأثير التحفيز الكهربائي والمضادات الحيوية على نمو بكتيريا المكورات العنقودية الذهبية وفعاليتها في تسريع التئام الجروح لدى الفئران المصابة بالسكري. الطريقة المستخدمة في هذه الدراسة تجريبية باستخدام تصميم عشوائي كامل (RAL). وشملت معلمات الملاحظة انخفاضاً في عدد المستعمرات البكتيرية، وتطور الجروح المقطوعة في الفئران التي تعاني من مرض السكري. يتم تطبيق التحفيز الكهربائي بجهد نبضي 50 و 60 و 70 و 80 فولت، بالإضافة إلى مدة تحفيز 5 و 10 و 15 دقيقة، مصحوبة بإعطاء 0.1 ml من المضادات الحيوية. أظهرت النتائج أن التحفيز الكهربائي والمضادات الحيوية كان لها تأثير كبير في الحد من نمو بكتيريا المكورات العنقودية الذهبية بنسبة تصل إلى 87٪ مع جهد مثالي يبلغ 80 فولت ومدة زمنية مدتها 15 دقيقة. بالإضافة إلى ذلك، يعمل التحفيز الكهربائي والمضادات الحيوية على تسريع عملية التئام الجروح في الفئران، كما يتضح من انخفاض حجم الجرح وزيادة عدد الضامة في الأنسجة النسيجية المرضية مما يشير إلى أن الجرح قد دخل مرحلة انتشار الشفاء.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya arus globalisasi di berbagai bidang seiring dengan perkembangan teknologi dan industri, telah banyak mengubah perilaku dan gaya hidup masyarakat. Perubahan gaya hidup, sosial ekonomi, dan industrialisasi dapat memicu peningkatan berbagai macam penyakit. Kebiasaan buruk yang terbentuk dalam kehidupan sehari-hari seperti mengonsumsi makanan olahan, makanan berlemak, makanan yang banyak mengandung gula, atau pemanis buatan dan juga tidak diimbangi dengan aktivitas fisik dapat meningkatkan penyakit *degenerative* salah satunya yaitu Diabetes Melitus (DM) (Sekarwati WA, 2020).

Diabetes Melitus (DM) merupakan penyakit kronis yang prevalensinya terus bertambah di seluruh dunia. Diabetes melitus adalah gangguan metabolisme yang ditandai dengan peningkatan kadar glukosa darah atau hiperglikemia, yang terjadi akibat ketidakseimbangan antara suplai dan kebutuhan insulin (Komariah, K., & Rahayu, S, 2020). Insulin merupakan hormon yang mengatur kadar glukosa dalam tubuh. Ketika fungsi insulin terganggu, kadar glukosa dalam darah dapat meningkat (hiperglikemia). Meskipun termasuk ke dalam kategori Penyakit Tidak Menular (PTM), diabetes melitus menjadi salah satu penyebab kematian tertinggi di dunia.

Kenaikan jumlah penduduk yang menderita penyakit diabetes melitus di dunia kini semakin mengkhawatirkan. Berdasarkan data yang diperoleh dari *International Diabetes Federation* (IDF), pada tahun 2019 jumlah kasus diabetes melitus di dunia mencapai 135.6 juta jiwa atau sekitar 19.3%. Diperkirakan jumlah ini akan meningkat hingga mencapai 195.2 juta jiwa pada tahun 2030, dan mencapai 276.2

juta jiwa pada tahun 2045 (IDF 2019). Indonesia menempati peringkat kelima di dunia setelah negara Cina yaitu dengan jumlah penderita sebanyak 140,87 juta, India dengan jumlah penderita 74,19 juta, Pakistan dengan jumlah penderita 32,96 juta, Amerika Serikat dengan jumlah penderita 32,22 juta dan Indonesia dengan jumlah penderita mencapai 19,5 juta. Berdasarkan data uraian di atas, Indonesia menjadi negara dengan prevalensi yang cukup tinggi sebagai negara penderita diabetes di Asia Tenggara. Menurut laporan dinas Kominfo (Komunikasi dan Informatika), Provinsi Jawa Timur menempati urutan ke 9 dari 10 angka prevalensi tertinggi di Provinsi Jawa Timur, dengan kisaran 6,8 juta jiwa yang menderita penyakit diabetes (Kominfo, 2021). Berdasarkan laporan di Kota Malang, jumlah penderita diabetes pada tahun 2022 berjumlah sekitar 45,16% atau sebanyak 18,984 orang (Dinkes, 2022).

Salah satu dari beberapa penyebab terjadinya diabetes melitus diantaranya seperti kelebihan berat badan atau obesitas merupakan faktor utama yang dapat memicu diabetes melitus (Sulistiowati et al., 2018). Pola makan dengan asupan karbohidrat dan energi yang tidak sesuai kebutuhan cenderung menyebabkan ketidakmampuan dalam mengontrol kadar gula darah. Hal ini berkaitan dengan gaya hidup tidak sehat yang tentunya bertentangan dengan Al Quran yang menjelaskan tentang larangan makan berlebihan.

Sebagaimana firman Allah SAW dalam Al Qur'an Surah Al A'raf ayat 31 yang berbunyi:

وَكُلُوا وَاشْرَبُوا وَلَا تُسْرِفُوا ۚ إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ (٣١)

Artinya: “Makan dan minumlah, dan janganlah berlebih-lebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berlebih-lebihan.” (QS. Al A'raf [7]:31)

Menurut penjelasan Imam Bukhari, Ibnu Abbas menginterpretasikan ayat tersebut dengan mengatakan bahwa maknanya adalah “*makan dan berpakaianlah sesuai keinginanmu, asalkan kamu menjauhi dua hal, yaitu perilaku berlebihan dan juga sombong.*”

Terdapat juga firman Allah SAW dalam QS. Al An'am ayat 141 yang berbunyi:

وَهُوَ الَّذِي أَنشَأَ جَنَّاتٍ مَّعْرُوشَاتٍ وَغَيْرَ مَعْرُوشَاتٍ وَالنَّخْلَ وَالزَّرْعَ مُخْتَلِفًا أَكْلُهُ
وَالزَّيْتُونَ وَالرُّمَّانَ مُتَشَابِهًا وَغَيْرَ مُتَشَابِهٍ ۚ كُلُوا مِنْ ثَمَرِهِ إِذَا أَثْمَرَ وَآتُوا
حَقَّهُ ۚ يَوْمَ حَصَادِهِ ۚ وَلَا تُسْرِفُوا ۚ إِنَّهُ لَا يُحِبُّ الْمُسْرِفِينَ (١٤١)

Artinya: “*Dialah yang menumbuhkan tanaman-tanaman yang merambat dan yang tidak merambat, pohon kurma, tanaman yang beraneka ragam rasanya, serta zaitun dan delima yang serupa (bentuk dan warnanya) dan tidak serupa (rasanya). Makanlah buahnya apabila ia berbuah dan berikanlah haknya (zakatnya) pada waktu memetik hasilnya. Akan tetapi, janganlah kamu berlebihan. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang yang berlebih-lebihan.*” (QS. Al An'am [6]:141)

Al Quran menegaskan bahwa mengonsumsi makanan secara berlebihan dapat menjadi pemicu penyakit degeneratif, termasuk diabetes yang dapat mengancam kesehatan manusia. Ayat-ayat ini mengingatkan kita untuk tidak melampaui batas dalam mengonsumsi makanan. Mengonsumsi terlalu banyak makanan yang kaya gula dan lemak yang berlebihan dapat menyebabkan obesitas dan resistensi insulin, artinya sel-sel tubuh tidak dapat merespons insulin dengan baik. Akibatnya, tubuh harus memproduksi lebih banyak insulin untuk mengatasi kadar gula tinggi. Tidak hanya berdampak negatif pada kesehatan tubuh, namun juga memberikan dampak buruk pada psikis kita.

Perkembangan penyakit diabetes menimbulkan berbagai jenis komplikasi, baik yang bersifat akut maupun kronis (Waspadji, 2014). Salah satu komplikasi yang umum terjadi pada penderita diabetes adalah neuropati, yang dapat menyebabkan

terbentuknya ulkus diabetikum. Ulkus kaki diabetik merupakan dampak serius dari diabetes yang secara langsung berkontribusi pada tingkat morbiditas utama, mortalitas, dan penurunan kualitas hidup. Komplikasi ini dianggap sebagai salah satu yang paling serius dalam diabetes melitus, dengan prevalensi kejadian kaki diabetik yang terus meningkat (Utami et al., 2019). Diperkirakan sekitar 2-10% penderita diabetes mengalami ulkus diabetik di setiap tahunnya, dan sekitar 15-25% diantaranya menderita ulkus diabetik di sepanjang hidupnya (Kalaivani, 2014). Prevalensi Ulkus Kaki Diabetik (UKD) mencapai sekitar 41% dari seluruh populasi, dengan angka yang lebih tinggi terjadi pada kelompok usia lanjut. Ulkus menyebabkan penderita diabetes mengalami kesulitan bergerak, sehingga mengalami keterbatasan dalam beraktivitas (Kurdi et al., 2020).

Penderita diabetes memiliki risiko yang lebih besar terhadap infeksi bakteri pada luka. Luka terbuka pada kulit memudahkan invasi dari bakteri, dan beberapa penelitian mengungkapkan bahwa sekitar 40-80% ulkus diabetik mengalami infeksi. Tingkat gula darah yang tinggi menjadi tempat optimal bagi pertumbuhan bakteri yang sangat mendukung bagi perkembangan mikroorganisme patogen. Berdasarkan pada penelitian menunjukkan bakteri aerob (*Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*) dan bakteri anaerob (*Peptostreptococcus sp*) merupakan penyebab utama infeksi pada luka diabetes dan dapat memperlambat penyembuhan (Kannan et al., 2014). Salah satu jenis bakteri yang paling umum ditemukan pada luka diabetes melitus yaitu *Staphylococcus Aureus* yang berkisar 23%-76% (Ekawati et al., 2018).

Infeksi ulkus pada luka diabetik jika tidak ditangani dengan serius, memiliki risiko penyebaran yang sangat cepat, menyerang jaringan lunak dan tulang yang

akhirnya mengharuskan dilakukannya tindakan amputasi. Keadaan pasien setelah menjalani amputasi juga tidak selalu membaik secara menyeluruh, sekitar 14,3% dari mereka diperkirakan akan meninggal dunia dalam setahun setelah amputasi, dan sekitar 37% pasien dapat diprediksi meninggal dunia dalam tiga tahun setelah menjalani amputasi (Waspadji, 2014). Infeksi pada luka diabetik harus segera diatasi untuk mencegah komplikasi yang lebih serius dan mengurangi resiko tindakan amputasi. Penanganan infeksi yang dilakukan secara tepat dapat menurunkan risiko amputasi sebesar 40% (Lipsky et al., 2012).

Kemajuan teknologi yang sangat pesat membuat perawatan luka diabetes mengalami perkembangan. Hal tersebut ditunjang dengan semakin banyaknya inovasi-inovasi terbaru dalam metode perawatan luka. Salah satu metode dalam upaya penyembuhan luka diabetes adalah dengan menggunakan terapi elektrik atau stimulasi elektrik (Kartika et al., 2018). Stimulasi listrik menjadi terobosan dalam upaya peningkatan penyembuhan luka pada penderita diabetes. Berdasarkan penelitian terdahulu, terapi ini terbukti mampu meningkatkan aktivitas seluler pada sebagian besar fase penyembuhan luka kulit kronis, mengurangi infeksi, merangsang kontraksi otot untuk meningkatkan sirkulasi darah, meningkatkan kinerja dan mempercepat penyembuhan luka (Sukarni et al., 2022).

Balakoutunis (2011) menyatakan bahwa stimulasi arus listrik mampu membantu dalam penyembuhan luka diabetes. Pemanfaatan arus listrik untuk menyembuhkan jaringan luka dapat menurunkan intensitas arus pada luka itu sendiri. Oleh karena itu, pemberian arus listrik bisa menjadi langkah perbaikan untuk regenerasi sel pada luka. Stimulasi arus listrik terbukti dapat mempengaruhi proliferasi migrasi sel serta mekanismenya. Berdasarkan penelitian yang telah

dilakukan oleh Asadi dan Torkaman (2014), menunjukkan hasil bahwa terapi dengan menggunakan stimulasi arus listrik DC selama 2 jam yang dilakukan sebanyak 3 kali dalam seminggu pada luka dapat meningkatkan suhu kulit dan mempercepat penyembuhan luka.

Stimulasi arus listrik juga mampu menghambat pertumbuhan bakteri. Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Yaqin dan Ayu Dwi (2016) tentang pengaruh kuat arus listrik terhadap pertumbuhan bakteri *Salmonella sp* pada air minum isi ulang. Dalam penelitian ini, alat penghantar listrik diberikan antenna yang sebelumnya dibersihkan dengan menggunakan alkohol terlebih dahulu. Antena tersebut kemudian dimasukkan ke dalam tempat penampungan air yang berukuran 500 liter. Perlakuan menggunakan arus listrik sebesar 3 ampere selama 2 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, air minum isi ulang yang dipapar arus listrik sebesar 3 ampere selama 2 jam mampu membunuh bakteri *Salmonella sp*. Penelitian lain yang dilakukan oleh Tirono et al., (2022) membuktikan bahwa stimulasi listrik efektif dalam mematikan bakteri patogen penyebab infeksi.

Selain melibatkan stimulasi arus listrik, penerapan dengan menggunakan antibiotik merupakan strategi yang efektif untuk mengatasi luka infeksi yang disebabkan oleh mikroorganisme terutama bakteri. Antibiotik merupakan obat yang dihasilkan oleh fungi atau bakteri yang dapat membunuh atau menghambat pertumbuhan mikroorganisme patogen dan memiliki toksisitas terhadap manusia yang relatif rendah. Mekanisme antibiotik melibatkan penghambatan sintesis dinding sel, penghentian sintesis protein atau kerusakan membrane sel bakteri. Pemilihan antibiotik harus disesuaikan dengan identifikasi jenis bakteri yang menjadi sebab infeksi (Murray et al., 2021).

Stimulasi arus listrik dan penggunaan antibiotik merupakan dua metode yang dapat digunakan untuk mempercepat penyembuhan luka. Stimulasi arus listrik telah terbukti merangsang regenerasi jaringan serta meningkatkan aliran darah ke area luka, sedangkan antibiotik efektif dalam mengendalikan pertumbuhan bakteri dan mengurangi resiko infeksi. Namun, hingga saat ini belum ada penelitian yang secara khusus mengeksplorasi bagaimana keduanya dapat bekerja bersama untuk penyembuhan luka diabetes. Oleh karena itu, dengan mengombinasikan kedua metode tersebut, peneliti berharap dapat menemukan solusi inovatif yang dapat meningkatkan efektivitas pengobatan, mempercepat proses penyembuhan luka pada penderita diabetes, dan mengurangi risiko infeksi bakteri yang dapat memperburuk kondisi luka. Berdasarkan latar belakang tersebut maka akan dilakukan penelitian tentang **“Efek Stimulasi Arus Listrik dan Antibiotik Terhadap Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus* Pada Luka Mencit (*Mus musculus*) Diabetes Melitus”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh tegangan stimulasi listrik dan pemberian antibiotik terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* pada luka Diabetes Melitus?
2. Bagaimana pengaruh waktu stimulasi listrik dan pemberian antibiotik terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* pada luka Diabetes Melitus?

3. Bagaimana pengaruh stimulasi listrik dan antibiotik terhadap kondisi luka mencit yang menderita Diabetes Melitus berdasarkan pengamatan secara *visual* dan mikroskopis?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menentukan nilai optimum tegangan stimulasi listrik dan antibiotik yang mampu mematikan bakteri.
2. Untuk mengetahui pengaruh waktu stimulasi arus listrik dan antibiotik terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* pada luka Diabetes Melitus.
3. Untuk mengetahui pengaruh stimulasi listrik dan antibiotik terhadap penyembuhan luka mencit Diabetes Melitus melalui pengamatan *visual* dan mikroskopis.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik teoritis maupun empiris sebagai berikut:

1.4.1 Manfaat Teoritis

Manfaat teoritis dalam penelitian ini adalah untuk menambah wawasan serta mengetahui bagaimana pengaruh efek stimulasi arus listrik dan antibiotik terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* pada luka mencit penderita diabetes melitus.

1.4.2 Manfaat Praktis

1. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi alternatif untuk pengobatan luka pada penderita diabetes melitus.

2. Sebagai masukan bagi pihak yang akan melanjutkan penelitian maupun melakukan penelitian yang ada kaitannya dengan penelitian ini.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bakteri yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Staphylococcus aureus* dengan menggunakan kulit sapi sebagai media pertumbuhan bakteri.
2. Hewan uji yang digunakan pada penelitian ini adalah mencit putih jantan (*Mus Musculus*) yang telah menderita diabetes.
3. Antibiotik yang digunakan adalah biokatan alami dengan konsentrasi yang sama pada setiap sampel.
4. Evaluasi luka dilakukan pada mencit dengan luka sayatan yang dibuat pada punggung mencit.
5. Preparat histopatologi yang diambil hanya satu dari setiap kelompok sampel, serta jaringan yang diamati meliputi makrofag dan fibroblast.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Diabetes Mellitus

2.1.1 Definisi Diabetes Mellitus

Istilah diabetes pertama kali diperkenalkan pada abad kedua oleh Aretaeus Cappadocia, seorang praktisi kesehatan. Pada masa itu, Aretaeus dan Celcus menggunakan istilah diabetes untuk menggambarkan kondisi individu yang sering buang air kecil dan minum dalam jumlah yang banyak. Diabetes Mellitus berasal dari bahasa latin, *diabetes* berarti penerusan, dan *melitus* berarti manis. Sebelum abad ke-17 kasus diabetes melitus jarang terjadi. Namun, pada abad ke-17 Thomas Willis menemukan kembali kasus dengan gejala urine yang memiliki rasa manis. Willis menganggap bahwa jumlah kasus ini akan terus meningkat. Pada tahun 1809, John Rollo menyatakan diabetes mellitus sebagai penyakit (Syamsiyah, 2017).

Diabetes Mellitus (DM) adalah kondisi yang ditandai dengan tingginya kadar gula darah, disertai berbagai kelainan metabolik akibat gangguan hormonal. Kondisi ini dapat menyebabkan komplikasi kronik pada mata, ginjal, saraf, dan pembuluh darah. Diabetes melitus merupakan kelompok penyakit metabolik yang ditandai oleh peningkatan kadar gula darah yang disebabkan oleh kelainan sekresi insulin, kerja insulin, atau keduanya (PERKENI, 2021).

2.1.2 Klasifikasi Diabetes Melitus

Klasifikasi diabetes melitus mencakup tiga jenis utama, yaitu DM tipe 1, DM tipe 2, dan diabetes gestasional (Septiarni, 2018).

- a. Diabetes tipe 1, yang juga dikenal sebagai DM tipe I atau *Insulin Dependent Diabetes Mellitus* (IDDM), disebabkan oleh kerusakan pada sel-sel beta pankreas, biasanya akibat reaksi autoimun. Kekurangan insulin bersifat absolut, dan gejala muncul ketika kerusakan sel beta mencapai 80-90%. Kerusakan ini cenderung berkembang lebih cepat terjadi pada anak-anak dibandingkan orang dewasa. Sebagian besar penderita DM tipe I menunjukkan adanya antibodi sebagai indikasi adanya proses autoimun, meskipun sebagian kecil tidak menunjukkan tanda-tanda tersebut (Firdaus, 2017).
- b. Diabetes tipe 2, atau noninsulin-dependent diabetes, ditandai dengan ketidakmampuan tubuh untuk merespon insulin dengan baik. Pada diabetes tipe 1, pasien mungkin lebih sensitif terhadap suntikan insulin karena pankreas tidak dapat memproduksi insulin dalam jumlah yang memadai atau sama sekali. Sebaliknya, diabetes tipe 2 terjadi karena resistensi insulin, di mana sel-sel tubuh tidak memanfaatkan insulin secara efektif sebagai sumber energi atau pankreas tidak memproduksi cukup insulin. Resistensi insulin menyebabkan glukosa menumpuk dalam aliran darah, sementara pankreas terus memproduksi insulin (Sutanto, 2017).
- c. Diabetes Gestasional (DMG) adalah kondisi peningkatan glukosa yang terdeteksi untuk pertama kali pada wanita hamil. Kondisi ini terjadi pada wanita hamil yang sebelumnya tidak didiagnosis menderita diabetes, tetapi menunjukkan kadar glukosa tinggi selama kehamilan. Diabetes melitus gestasional berhubungan dengan sejumlah komplikasi selama kehamilan, termasuk peningkatan kebutuhan operasi Caesar, preeklamsia, infeksi

saluran kemih, dan risiko gangguan seperti makrosomia, hipoglikemia neonatus, dan ikterus neonatorum (Kurniawan, 2016).

2.2. Ulkus Diabetes

Ulkus diabetes merupakan kerusakan pada sebagian (*Partial Thickness*) atau seluruh (*Full Thickness*) lapisan kulit yang meluas hingga ke jaringan di bawahnya, termasuk tendon, otot, tulang, atau persendian, yang terjadi pada penderita diabetes melitus (DM). Hal ini ditandai oleh peningkatan kadar gula darah. Sebagai salah satu komplikasi kronis diabetes melitus, ulkus diabetikum menyebabkan adanya luka terbuka pada kulit yang dapat disertai adanya kematian jaringan sekitar (Anugrah, 2019). Infeksi dapat terjadi jika ulkus kaki tidak diobati dalam jangka waktu yang cukup lama, dan kondisi ini dapat berujung pada amputasi pada bagian bawah ekstremitas yang dapat memicu gangren, neurartropati, infeksi, ulkus kaki, dan penyakit arteri perifer (Tarwoto et al., 2016).

Terdapat tiga faktor utama yang meningkatkan risiko masalah pada kaki penderita diabetes, diantaranya yaitu penurunan sirkulasi darah ke kaki (akibat gangguan pembuluh darah), berkurangnya sensitivitas pada kedua kaki (akibat gangguan saraf), dan penurunan daya tahan tubuh terhadap infeksi.

Klasifikasi ulkus diabetik menurut Wagner adalah sebagai berikut:

- a) Tingkat 0: tidak terdapat luka terbuka di kaki, gejala hanya nyeri.
- b) Tingkat 1: Terlihat ulkus superfisial (sebagian atau belum mengenai jaringan lebih dalam).

- c) Tingkat 2: Ulkus mencapai tendon dan disertai selulitis tanpa kelainan tulang / abses.
- d) Tingkat 3: Luka yang lebih dalam dengan peradangan jaringan di sekitarnya hingga infeksi pada tulang dan pembentukan abses.
- e) Tingkat 4: Gangren yang terlokalisasi, seperti pada jari kaki, bagian depan kaki atau tumit.
- f) Tingkat 5: Gangren yang melibatkan seluruh kaki (Handaya, 2016).

2.2.1 Mekanisme Masuknya Bakteri

Penderita diabetes melitus memiliki risiko tinggi mengalami penyempitan pembuluh darah dibandingkan dengan orang sehat. Kondisi ini dapat menyebabkan sumbatan pada pembuluh darah tersebut (Cahyani, 2014). Komplikasi umum pada diabetes adalah luka diabetes yang rentan terhadap infeksi karena dapat terjadi penempelan bakteri. Kadar gula darah yang tinggi pada penderita diabetes dapat memperlambat respons sistem kekebalan tubuh terhadap infeksi bakteri. Selain itu, peningkatan kadar glukosa menjadi sumber nutrisi bagi pertumbuhan dan perkembangan bakteri. Infeksi dapat terjadi jika bakteri berhasil melewati lapisan mukosa atau kulit dan menembus jaringan tubuh. Ulkus sebagai pintu masuk bagi bakteri gram positif dan gram negatif, dapat menyebabkan kerusakan berat pada jaringan. Kadar glukosa yang tinggi di area tersebut menjadi tempat strategis bagi perkembangan bakteri (Anggriawan, 2014).

Hal ini dikarenakan bakteri anaerob yang umumnya bersifat patogen dan berperan dalam menyebabkan infeksi ulkus diabetikum mendapatkan

keuntungan dari kondisi predisposisi infeksi anaerob. Faktor-faktor seperti paparan area steril tubuh terhadap inokulum bakteri dari flora membran mukosa, suplai darah yang tidak memadai, serta nekrosis jaringan yang menurunkan potensi oksidasi dan reduksi, mendukung pertumbuhan bakteri anaerob. Salah satu faktor risiko utama adalah diabetes mellitus. Infeksi yang telah ada sebelumnya, disebabkan oleh organisme aerobik atau fakultatif, dapat mengubah kondisi jaringan lokal menjadi lebih kondusif bagi pertumbuhan bakteri anaerob (Sartika, 2020).

Banyaknya jumlah bakteri dapat memengaruhi beberapa hal terutama dalam proses pembersihan luka. Luka yang sering terbuka dalam waktu yang lama memudahkan bakteri masuk, baik melalui air, udara, tanah atau melalui tangan selama perawatan pribadi, atau dengan menyentuh permukaan luka yang terkontaminasi. Bakteri ini kemudian berkembang di sekitar jaringan kulit yang terbuka, meningkatkan risiko infeksi yang dapat meluas jika tidak segera diobati dengan perawatan intensif.

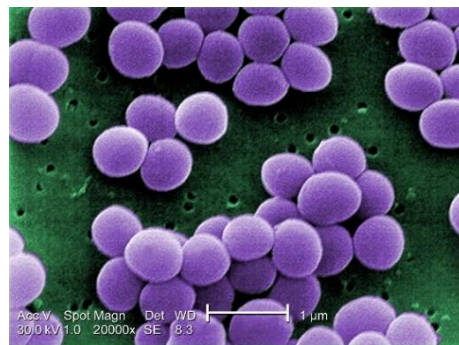
Infeksi bakteri pada ulkus diabetikum dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti sanitasi air yang kurang bersih, penggunaan pakaian yang tidak higienis, pekerjaan berat, dan ketidakpatuhan terhadap pengobatan (Radji M, 2010). Bakteri yang umumnya menghasilkan pus (nanah) diantaranya yaitu *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella sp.*, *Proteus sp.*, *Pseudomonas sp.*, *Escherichia coli*, dan *Streptococcus sp.*, dapat merusak sel-sel leukosit jenis neutrofil yang mengakibatkan terbentuknya abses pada jaringan tubuh yang terkena luka diabetes (Radji M, 2010).

2.3 *Staphylococcus aureus*

2.3.1 Definisi *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus adalah bakteri gram positif yang hidup secara fakultatif anaerob, berbentuk bulat dengan diameter 0,7-1,2 μm , dan membentuk kelompok tidak teratur menyerupai sekumpulan buah anggur. Bakteri ini tidak berseprora dan tidak memiliki kemampuan untuk bergerak. Suhu optimal pertumbuhan bakteri ini adalah 37°C, pada suhu kamar (20°C - 25°C) bakteri ini dapat menghasilkan pigmen. Pigmen yang dihasilkan memiliki rentang warna mulai dari abu-abu hingga kuning keemasan. Koloni *Staphylococcus aureus* berbentuk bundar, dengan permukaan halus, berkilau, dan menonjol. Lebih dari 90% isolat klinis menunjukkan morfologi *Staphylococcus aureus* mempunyai kapsul polisakarida atau lapisan tipis yang berperan dalam virulensi bakteri (Karimela et al., 2017).

2.3.2 Klasifikasi dan Morfologi *Staphylococcus aureus*



Gambar 2.1. Bakteri *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*)

Klasifikasi dari bakteri *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*) adalah sebagai berikut:

Divisi : *Protophytai*

Kelas : *Schizomycetesi*

Ordo : *Eubateriales*
Famili : *Micrococceae*
Genus : *Staphylococci*
Spesies : *Staphylococcus aureus* (Lisnawati & Prayoga, 2020).

Staphylococcus aureus (*S. aureus*) berbentuk kokus (bulat) dengan diameter sekitar 0,5-1,0 mm, dan tersusun menyerupai buah anggur. Bakteri ini bersifat fakultatif anaerob (dapat hidup dengan atau tanpa oksigen), tidak membentuk spora, dan juga tidak bergerak. Pertumbuhan optimalnya terjadi pada suhu 37°C. Koloni bakteri ini pada media padat memiliki warna abu-abu hingga kuning keemasan, berbentuk bundar, halus, menonjol, serta berkilau. Lebih dari 90% isolat klinik menunjukkan bahwa *Staphylococcus aureus* dengan kapsul polisakarida atau selaput tipis yang berperan dalam virulensi bakteri (Karimela et al., 2017).

Kromosom *Staphylococcus aureus* terdiri dari DNA berserat ganda, dengan tambahan kromosom ekstraseluler (plasmid), dan tidak mengandung nukleosom. Ribosomnya memiliki ukuran 70s dan tersusun dari subunit 30s dan 50s. Membran sitoplasma bakteri ini memiliki struktur lemak dengan dua lapisan, termasuk kolesterol. Selain itu, bakteri ini memiliki kapsul yang terdiri dari polisakarida, pili untuk perlekatan, fimbriae, dan flagela yang berperan dalam pergerakan (Murray et al., 2016).

Dinding sel bakteri adalah struktur kompleks yang kurang elastis dan memengaruhi bentuk sel. Fungsinya utama adalah melindungi sel bakteri dari tekanan internal yang lebih tinggi dibandingkan di luar sel, yang dapat menyebabkan sel tersebut pecah. Secara klinis, dinding sel memiliki peran

penting karena mendukung kemampuan bakteri dalam menyebabkan penyakit, berperan dalam perlekatan dengan reseptor APC (*Antigen Presenting Cell*), serta menjadi target kerja antibiotik. Dinding sel bakteri *Staphylococcus aureus* terdiri dari makromolekul peptidoglycan, teichoic acid, dan lipoteichoic acid.

Staphylococcus aureus dapat berkembang pada rentang suhu 6,5 °C hingga 46 °C dan pada kisaran pH 4,2 hingga 9,3. Koloni bakteri ini dapat tumbuh dalam 24 jam dengan diameter 4 mm. Pigmen *lipochrom* yang diproduksi oleh *Staphylococcus aureus* memberikan tampilan warna kuning keemasan atau kuning jingga pada koloninya. Pada media Mannitol Salt Agar (MSA), koloni *Staphylococcus aureus* akan terlihat berwarna kuning (Wael, 2017).

Bakteri *Staphylococcus aureus* memiliki ketahanan terhadap panas, sehingga membutuhkan suhu minimal 60°C selama 20-30 menit untuk mematikannya. Ketika dikulturkan pada media agar, *Staphylococcus aureus* membentuk koloni yang bulat, halus, menonjol, dan berkilau dengan pigmen putih, orange, atau kuning. Pigmen ini terbentuk optimal pada suhu 22°C dan hanya dalam kondisi aerobik. Di media cair seperti nutrient broth, *Staphylococcus aureus* menghasilkan kekeruhan seragam tanpa pembentukan pigmen. Bakteri ini dapat menyebabkan infeksi pada kulit dengan cara menempel pada sel kulit dan berkembang biak, serta merusak jaringan sel kulit (Paniker, 2010).

2.3.3 Patogenesis *Staphylococcus aureus*

Staphylococcus aureus merupakan mikroorganisme yang memiliki mekanisme khusus untuk menyerang bagian dalam tubuh manusia. Sebagai

patogen invasive, bakteri ini dapat memengaruhi berbagai kondisi seperti furunkel, karbunkel, sistitis, sepsis, pneumonia, pielitis, ulkus endokardium, ulkus serebral, ulkus meningeal, dan osteomielitis (Mashita, 2017). Karakteristik infeksi yang dihasilkan oleh bakteri ini biasanya berupa peradangan bernanah pada jaringan, yang kemudian dapat berkembang menjadi abses atau bisul. Infeksi tersebut berpotensi menyebar ke jaringan-jaringan yang lebih dalam dan menyebabkan kondisi serius seperti osteomielitis, endokarditis, artritis, dan abses pada otak, ginjal, paru-paru, serta kelenjar mammae.

Staphylococcus aureus umumnya merupakan flora normal pada kulit sehat, tetapi dapat menjadi patogen atau penyebab infeksi serius pada kondisi di mana sistem imun melemah, seperti perubahan hormon, penyakit, dan luka. Bakteri *Staphylococcus aureus* dapat tersebar di udara sekitar dalam lingkungan terbuka. Racun yang dihasilkan oleh *Staphylococcus aureus* sulit dihancurkan oleh panas, sehingga meskipun bakteri dapat mati dengan pemanasan racunnya tetap dapat menyebabkan keracunan pada individu yang terpapar.

Patogenesis infeksi *Staphylococcus aureus* melibatkan interaksi antara berbagai protein pada permukaan bakteri dan berbagai reseptor yang ada pada permukaan sel inang. *Staphylococcus aureus* memiliki kemampuan untuk menghasilkan koagulasi, yang berperan dalam mengubah fibrinogen menjadi fibrin. Selain itu, bakteri ini berkontribusi dalam pembentukan barisan perlindungan dengan memiliki reseptor terhadap permukaan sel inang dan protein matriks seperti fibronectin dan kolagen. Fungsi ini membantu bakteri melekat pada sel inang. Bakteri ini juga dapat menghasilkan enzim litik

ekstraseluler, seperti lipase, yang berperan dalam memecah jaringan sel inang dan mendukung proses invasi (Gillespie dan Bamford, 2009).

Staphylococcus aureus merupakan patogen utama dalam genus Stafilocokus karena kemampuannya untuk menghemolisis darah, menyebabkan koagulasi plasma, serta memproduksi berbagai enzim ekstraseluler dan toksin yang dapat meningkatkan virulensi. Bakteri ini memiliki sistem pengaturan yang kompleks untuk merespon rangsangan lingkungan dan mengontrol ekspresi berbagai gen virulensi sebagai bagian dari mekanisme patogenitasnya. Oleh karena itu, bakteri ini dapat menyebabkan berbagai penyakit invasif dan toksigenik.

Faktor virulensi *Staphylococcus aureus* berperan penting dalam virulensi dan kemampuan bakteri ini menyebabkan infeksi. Virulensi adalah kemampuan mikroba untuk menginfeksi, sedangkan faktor virulensi merupakan komponen yang meningkatkan patogenitas mikroorganisme tersebut. Kemampuan patogen mikroorganisme untuk menyebabkan infeksi dipengaruhi oleh sifat mikroorganisme dan kemampuan sel inang dalam membentuk kekebalan terhadap infeksi (Mardiyantoro et al., 2018).

2.3.4 Mekanisme infeksi

Menurut Radji (2010) tahapan infeksi oleh mikroorganisme pada inangnya dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Pelekatan pada protein sel inang

Staphylococcus aureus memiliki protein permukaan yang memfasilitasi adhesi pada sel inang. Protein ini termasuk laminin dan fibronectin yang terdapat pada permukaan epitel dan endotel, membentuk matriks

ekstraseluler. Selain itu, interaksi dengan protein fibrin atau fibrinogen meningkatkan kemampuan bakteri untuk melekat pada jaringan.

b. Invasi

Proses invasi melibatkan penetrasi bakteri ke dalam sel inang dan penyebarannya ke seluruh tubuh, memastikan jalur yang efektif bagi bakteri untuk melewati proses infeksi. *Staphylococcus aureus* menunjukkan keberadaan sejumlah besar protein ekstraseluler dalam upaya menginfeksi sel inang. Protein-protein tersebut, seperti α -toksin, β -toksin, γ -toksin, koagulase, stafilokinase, leukosidin, beberapa enzim seperti lipase, protease, DNase, serta enzim pemodifikasi asam lemak.

c. Perlawanan terhadap ketahanan inang

Staphylococcus aureus mampu melawan mekanisme perlawanan dari sel inangnya. Faktor-faktor pertahanan diri yang dimiliki oleh *Staphylococcus aureus* termasuk simpai polisakarida, protein A, dan leukosidin.

d. Pelepasan beberapa jenis toksin

Proses ini melibatkan pelepasan berbagai jenis toksin, seperti eksotoksin, superantigen, dan toksin eksfoliatin.

2.4 Stimulasi Listrik

Dalam perspektif Islam, penggunaan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk meningkatkan kualitas hidup manusia sangat dianjurkan, asalkan sesuai dengan prinsip-prinsip agama. Sebagaimana dijelaskan dalam Al Quran Surah Al-Mujadilah (58:11)

يَرْفَعُ اللَّهُ الَّذِينَ آمَنُوا مِنْكُمْ ۖ وَالَّذِينَ أُوتُوا الْعِلْمَ دَرَجَاتٍ ۚ وَاللَّهُ بِمَا تَعْمَلُونَ خَبِيرٌ
(١١)

Artinya: “Allah meninggikan orang-orang yang beriman di antara kamu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat...” (QS. Al-Mujadilah, 11).

Ayat ini menekankan bahwa ilmu pengetahuan ketika digunakan untuk tujuan yang baik dan bermanfaat, akan mendatangkan kedudukan yang tinggi di sisi Allah. Inovasi dan teknologi seperti stimulasi listrik yang digunakan untuk penyembuhan dan perbaikan kesehatan merupakan contoh penerapan ilmu yang diberkahi. Penggunaan teknologi ini mencerminkan upaya yang mulia dan mendapat keberkahan dari Allah, sebagaimana ajaran Islam mendorong pemanfaatan ilmu pengetahuan untuk kemaslahatan umat manusia (Yusuf, 2012). Dengan demikian, penggunaan teknologi ini tidak hanya merupakan kemajuan teknis tetapi juga mencerminkan upaya yang diberkahi untuk meningkatkan kesejahteraan dan kualitas hidup sesuai dengan ajaran Islam.

2.4.1 Elektrostimulator



Gambar 2.2. Elektrostimulator

Elektrostimulator merupakan alat penunjang yang menghasilkan gelombang listrik dengan bentuk gelombang, intensitas tegangan, dan

frekuensi tertentu. Alat ini sering digunakan untuk mengukur reaksi sel saraf dan otot terhadap rangsangan listrik tertentu. Dalam terapi akupunktur, elektrosimulator digunakan untuk menstimulasi energi listrik pada titik meridian tubuh. Untuk menghasilkan keseimbangan energy (chi) dalam tubuh, energi ini harus diberikan dalam bentuk gelombang, intensitas tegangan, frekuensi dan waktu rangsangan. Gelombang elektrostimulator berbentuk kurva tegangan terhadap waktu. Elektrosimulator biasanya menggunakan gelombang dengan lebar pulsa yang relatif kecil sehingga tidak sakit (Utari et al., 2017).

Frekuensi stimulasi sangat penting untuk mengatur jenis dan jumlah kontraksi otot yang dihasilkan (Vromans, 2017). Berbagai parameter gelombang menjadi faktor penting dalam menentukan efektivitas terapi. Sebagai alat terapi, elektrostimulator sering kali dimanfaatkan untuk meningkatkan kekuatan otot, meningkatkan sirkulasi darah, mengurangi rasa sakit, dan mempercepat proses pemulihan jaringan yang rusak (Mangold et al., 2005). Bentuk gelombang, amplitudo, frekuensi, lebar pulsa, dan waktu terapi elektrosimulator masing-masing memengaruhi dosis energi yang digunakan untuk terapi.

Penentuan dosis energi yang tepat untuk setiap terapi merupakan salah satu komponen penting yang mempengaruhi keberhasilan terapi elektrosimulator. Berdasarkan penelitian biofisika, elektrosimulator yang aman dan efektif untuk terapi memiliki karakteristik yaitu:

- 1) Arus efektif yang dikeluarkan tidak lebih dari 0,5 mA
- 2) Bentuk pulsa spike, tegangan maksimum (V_p) harus setinggi mungkin, karena nilai V_p menunjukkan besar energy yang masuk ke dalam tubuh. Semakin tinggi V_p maka rangsangan akan semakin cepat.

- 3) Lebar pulsa (s) harus sekecil mungkin, karena nilai s menurunkan rasa sakit (Astuti, 2015).

2.4.2 Arus Listrik

Arus listrik atau yang dikenal dalam bahasa Inggris disebut dengan *Electric Current* adalah aliran muatan listrik yang mengalir melalui media konduktor dalam satuan waktu tertentu. Di dalam sebuah atom, muatan listrik dibawa oleh sebuah Elektron dan Proton. Proton bermuatan positif sedangkan Elektron bermuatan negatif. Arus listrik atau *Electric Current* umumnya dilambangkan dengan huruf “*I*” yang artinya “*Intesity*” (intensitas). Sedangkan satuan arus listrik dikenal sebagai *Ampere*, disingkat dengan huruf “A” atau “Amp” yang diambil dari nama seorang ilmuwan Perancis yaitu Andrey Marie Ampere (1775 – 1836). Besar arus listrik dirumuskan sebagai berikut: (Siswanto et al., 2018)

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

Dalam hal ini, ΔQ adalah jumlah muatan yang melewati konduktor pada suatu titik selama periode waktu Δt . 1 Ampere arus listrik dapat dijelaskan sebagai jumlah elektron atau muatan (Q atau Coulombs) yang bergerak melewati titik tertentu dalam 1 detik. Muatan akan mengalami pergerakan apabila terdapat pengaruh dari energi eksternal. Selama muatan terus bergerak, arus listrik akan tetap ada, namun jika muatan berhenti bergerak arus pun akan terhenti. Aliran arus listrik bergerak dari potensial tinggi menuju potensial rendah dan arahnya berlawanan arah dengan pergerakan elektron (Mikrajuddin Abdullah, 2018).

Untuk memungkinkan aliran arus listrik dalam suatu penghantar, perlu adanya perbedaan potensial antara kedua ujung kawat. Kuat arus listrik yang

mengalir melalui penghantar diukur sebagai banyaknya muatan listrik yang melewati suatu titik dalam setiap detiknya. Besarnya arus yang mengalir sebanding dengan beda potensial, V , antara dua tempat atau $I \propto V$. Kesebandingan tersebut dapat ditulis:

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

Dimana R didefinisikan sebagai hambatan listrik antara dua titik. Satuan hambatan listrik adalah Ohm. Semakin besar R , semakin sulit arus listrik mengalir, yang ditandai dengan menurunnya besaran arus. Pada persamaan (2.2) dinamakan sebagai hukum Ohm. Berikut ini merupakan simbol dari hambatan listrik (Mikrajuddin Abdullah, 2018).



Gambar 2.3. Simbol hambatan listrik.

2.5 Efek Stimulasi Arus Listrik terhadap Kematian Bakteri

2.5.1 Efek Termal

Dalam hukum Joule, beda potensial diartikan sebagai suatu kerja atau usaha yang diperlukan untuk mentransfer satu satuan muatan dalam medan listrik. Sebagai contoh dalam sebuah rangkaian, adanya beda potensial V akan menghasilkan arus I , sehingga setiap detiknya akan terjadi perpindahan 1 coulomb dengan kerja Joule sebesar $V.I$. Persamaanya dapat dijelaskan sebagai berikut: (Giancoli, 2001)

$$P = V.I \quad (2.3)$$

Kesimpulannya, daya yang terdistribusi melalui kawat setiap detik akan terbuang dalam bentuk panas. Dengan kata lain, energi yang disalurkan melalui kawat dalam bentuk daya akan mengalami transformasi menjadi panas, sehingga tidak dapat dipertahankan sebagai daya yang keluar melalui kawat. Sebagian besar daya ini diubah menjadi panas dan hilang.

Jumlah energi yang dipindahkan ke dalam jaringan tergantung pada besarnya tegangan efektif pulsa yang diterapkan dan durasi stimulasi. Apabila tegangan efektif semakin tinggi, maka jumlah energi yang dipindahkan juga semakin besar. Untuk menghitung jumlah energi yang terlibat dapat digunakan persamaan berikut:

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

Karena hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan dinyatakan sebagai $V = I \cdot R$, maka secara matematis dapat dituliskan sebagai:

$$E = I^2 \cdot R \cdot t \quad (2.5)$$

Pada persamaan (2.8) menunjukkan bahwa semakin besar arus yang mengalir, semakin besar pula energi listrik yang dihasilkan. Di dalam tubuh manusia, terdapat energi listrik yang dapat membuat atom-atom di sel tubuh bergetar. Hal itu menyebabkan tumbukan antara atom satu dengan yang lain. Akibat dari tumbukan atom tersebut, suhu sel tubuh meningkat karena dilalui arus. Besarnya energi panas disimbolkan dengan Q , sebanding dengan besarnya energi listrik yang mengalir yaitu: (Diehr, 2014)

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

Jika energi panas ditambahkan ke dalam suatu zat, maka suhu zat tersebut akan meningkat. Jumlah energi panas (Q) yang diperlukan untuk meningkatkan

suhu zat sebanding atau berbanding lurus dengan perubahan suhu dan massa zat tersebut. Secara sistematis, persamaannya dapat ditulis sebagai berikut:

$$Q = m c \Delta t \quad (2.7)$$

$$Q = C \Delta t \quad (2.8)$$

Di mana C merupakan kapasitas panas zat, yang diartikan sebagai jumlah energi panas yang diperlukan untuk meningkatkan suhu zat tersebut sebesar satu derajat. Panas yang dihasilkan oleh arus listrik akan disalurkan ke sekitarnya. Jika bakteri berada di sekitar luka, maka akan terjadi peningkatan energi panas pada bakteri. Jika kapasitas panas sel bakteri adalah c dan massa bakteri adalah m , maka perubahan suhu yang terjadi adalah:

$$\Delta T = \frac{Q}{m c} \quad (2.9)$$

Substitusi persamaan (2.9) ke persamaan (2.6) maka diperoleh

$$\Delta T = \frac{I^2 R t}{m c} \quad (2.10)$$

Jika m , C , dan R konstan, maka perubahan suhu yang terjadi ditentukan oleh perubahan dalam arus listrik (I) dan durasi pemberian stimulasi (t). Jika suhu bakteri melebihi batas toleransi pertumbuhannya, hal ini dapat mengakibatkan kematian pada bakteri. Oleh karena itu, laju kematian bakteri bergantung pada intensitas arus listrik yang diberikan.

Kemampuan untuk beradaptasi dengan variasi suhu habitat sangat penting untuk kelangsungan hidup suatu mikroorganisme. Suhu maksimum adalah suhu tertinggi dimana mikroorganisme masih dapat melakukan proses metabolisme. Sedangkan suhu minimum adalah suhu terendah yang memungkinkan mikroorganisme berkembang, tetapi jika berada di bawahnya, aktivitas

mikroorganisme akan terhambat. Apabila suhu melebihi batas maksimumnya, pertumbuhan mikroorganisme akan terhenti. Hal ini disebabkan oleh denaturasi, dimana enzim dan asam nukleat menjadi tidak aktif secara permanen. Akibatnya, metabolisme mikroorganisme akan berhenti dan menyebabkan kematian sel. Dengan kata lain, suhu yang ekstrem, baik terlalu rendah atau terlalu tinggi dapat menghambat aktivitas dan pertumbuhan mikroorganisme, bahkan dapat menyebabkan kematian sel.

2.5.2 Elektrolisis

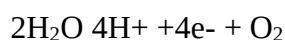
Elektrolisis merupakan suatu proses kimia yang memanfaatkan aliran listrik untuk memecah atau memisahkan zat kimia menjadi komponen-komponennya. Pada elektrolisis, arus listrik disalurkan melalui larutan atau lelehan zat kimia yang mengandung ion-ion positif dan negatif. Ion-ion ini akan berpindah ke elektroda (katoda atau anoda) sesuai dengan muatan listriknya. Ion positif akan bergerak menuju katoda, sedangkan ion negatif akan menuju anoda. Saat mencapai elektroda, ion-ion tersebut dapat menerima atau melepaskan elektron, tergantung pada kondisi elektroda dan sifat zat kimia yang digunakan (Siregar et al., 2023).

Secara umum, sel elektrolisis dijalankan menggunakan sumber arus searah, elektroda, dan elektrolit (Drie et al., 2022). Sel elektrolisis merupakan jenis sel elektrokimia yang memicu terjadinya reaksi redoks yang tidak terjadi secara spontan, dan proses ini memerlukan energi listrik eksternal untuk dapat berlangsung (Afandi et al., 2017). Dalam elektrolisis, reaksi redoks terjadi secara tidak spontan, sehingga membutuhkan suplai energi listrik dari luar, sebagaimana halnya dalam proses reaksi redoks yang dipicu oleh elektrokimia.

Dalam sel volta atau galvani, reaksi oksidasi-reduksi terjadi secara alami, dan energi kimia yang dihasilkan oleh reaksi ini dikonversi menjadi energi listrik. Sel elektrolisis menggunakan energi listrik untuk mendorong reaksi yang tidak terjadi secara spontan ($\Delta G > 0$), di mana lingkungan melakukan kerja terhadap sistem (Atina, 2015).

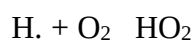
Proses elektrolisis dimulai saat arus listrik memasuki larutan melalui kutub negatif. Ion yang memiliki muatan positif menyerap elektron di katoda dan mengalami reduksi, sementara ion yang memiliki muatan negatif melepaskan elektron dan mengalami oksidasi di anoda (Riyanto & Agustiningih, 2018).

Dikarenakan adanya aliran muatan, muatan pada membrane sel bakteri mengalami pergeseran. Pada proses elektrolisis maka akan terjadi reaksi sebagai berikut:



Proses pembentukan atom hydrogen (H) merupakan salah satu tahap dalam transisi menuju pembentukan molekul hydrogen dalam reaksi reduksi katodik.

Reaksi yang terlibat dalam proses ini adalah sebagai berikut:



Dalam hal ini, elektroda logam (M) dapat memicu terbentuknya radikal hidroksil melalui reaksi hidrogen peroksida.



Meskipun kadar hidrogen peroksida yang dihasilkan dalam proses elektrolisis tidak terlalu tinggi, namun berpotensi tinggi merusak dinding sel bakteri. Hal ini

disebabkan oleh kemampuannya untuk bereaksi dengan kelompok protein yang bermuatan negatif, yang pada akhirnya akan menonaktifkan system enzim.

2.6 Efek Stimulasi Listrik terhadap Penyembuhan Luka

Stimulasi arus listrik telah terbukti efektif dalam mempercepat penyembuhan luka pada kulit yang mengalami luka kronis. Terapi ini terbukti dapat peningkatan aktivitas seluler pada setiap fase penyembuhan, mengurangi risiko infeksi, serta merangsang kontraksi otot betis untuk meningkatkan aliran darah (Sukarni et al., 2022). Penerapan stimulasi arus listrik pada luka kronis memiliki dampak positif pada fase inflamasi, proliferasi, dan remodeling. Pada fase inflamasi stimulasi tersebut meningkatkan aliran darah, oksigenasi jaringan, dan merangsang fibroblas, sambil mengurangi edema dan memberikan efek antibakteri. Pada fase proliferasi, stimulasi arus listrik meningkatkan transportasi membran, organisasi matriks kolagen, kontraksi luka, serta merangsang sintesis DNA dan protein. Pada fase remodeling stimulasi arus listrik meningkatkan proliferasi sel epidermis, migrasi, dan merangsang fibroblast yang memungkinkan peningkatan penutupan luka.

Stimulasi arus listrik juga memiliki efek positif pada vasodilatasi pembuluh darah, sintesis sel, dan migrasi sel ke area luka. Pemberian *Electric Muscle Stimulation* (EMS) meningkatkan produksi nitric oxide yang mendukung vasodilatasi pembuluh darah serta merangsang sintesis dan migrasi sel ke area luka (Sukarni et al., 2022). Penelitian oleh Rajendran et al (2021), membuktikan bahwa stimulasi arus listrik efektif sebagai terapi untuk ulkus kaki diabetik dengan cara meningkatkan sirkulasi darah pada ekstremitas bawah. Stimulasi arus listrik dengan ritme impuls frekuensi tinggi berperan dalam memperkuat otot, sedangkan ritme impuls frekuensi rendah meningkatkan daya tahan otot dan mempercepat

pemulihan otot yang lelah. Pemanfaatan stimulasi arus listrik mendukung pertumbuhan fibroblast pada penderita diabetes. Fibroblast dalam jaringan kulit berperan penting dalam membentuk jaringan kulit untuk menutup luka. Selain meningkatkan proliferasi fibroblast, stimulasi arus listrik juga dapat meningkatkan kemampuan sel-sel ini untuk menghasilkan matriks ekstraseluler (Blount, 2012). Stimulasi arus listrik tidak hanya memengaruhi proses penyembuhan luka, tetapi juga menurunkan kadar gula darah dengan memengaruhi syaraf yang memengaruhi sumbu hipotalamus pituitari adrenal. Akibatnya, produksi kortisol menurun yang mengakibatkan penurunan produksi glukosa dan peningkatan penyerapan glukosa oleh musculoskeletal.

Hasil penelitian Fainsod-Levi et al. (2017) menyimpulkan bahwa tingginya kadar gula dalam tubuh dapat memengaruhi gerakan neutrofil. Neutrofil memiliki peran penting sebagai pertahanan pertama dalam sistem kekebalan tubuh terhadap infeksi dan melibas patogen. Oleh karena itu, tingginya kadar gula dapat menghambat kecepatan penyembuhan luka, membuat proses penyembuhan menjadi lebih lambat dibandingkan dengan kondisi kadar gula yang rendah.

2.7 Antibiotik

Antibiotik telah lama digunakan untuk mengatasi penyakit yang disebabkan oleh infeksi mikroorganisme, terutama bakteri. Antibiotik merupakan senyawa yang dapat berasal dari sumber alami maupun sintetis dan memiliki kemampuan untuk menghambat atau menghentikan pertumbuhan bakteri (Soleha, 2015). Secara umum, antibiotik bekerja dengan menekan atau menghentikan aktivitas biokimia dalam organisme, terutama dalam proses infeksi oleh mikroba. Berbagai mekanisme kerja antibiotik meliputi penghambatan sintesis dinding sel bakteri,

gangguan fungsi membrane plasma. Antibiotik dapat bekerja dengan berbagai mekanisme, termasuk menghambat sintesis dinding sel bakteri, mengganggu fungsi membrane plasma, menghalangi sintesis asam nukleat, serta menghambat sintesis protein melalui penghambatan translasi dan transkripsi materi genetic, dan juga menghambat metabolisme folat (Salsabiela et al., 2024).

Dalam pengobatan infeksi bakteri, antibiotik merupakan metode utama untuk menghambat pertumbuhan atau membunuh bakteri patogen. Salah satu contoh antibiotik sintetik yang umum digunakan adalah amoksisilin. Amoksisilin termasuk dalam golongan penisilin dan merupakan obat generik efektif terhadap bakteri gram positif dan negative (Maida et al., 2019). Namun, penggunaan antibiotik sintetik seperti amoksisilin dapat menyebabkan peningkatan resistensi bakteri, yang menjadi tantangan penting dalam pengobatan infeksi bakteri. Salah satu upaya untuk mengurangi tingkat resistensi terhadap antibiotik adalah dengan memanfaatkan antibiotik berasal dari bahan alami. Mimba (*Azadiractha indica*) merupakan salah satu tanaman yang memiliki potensi sebagai sumber antibiotik alami.

Tanaman mimba (*Azadiractha indica*) menunjukkan potensi sebagai alternatif yang efektif. Efektivitas antibakteri pada tanaman ini berkaitan dengan kandungan senyawa seperti tannin dan flavonoid. Tannin berfungsi dengan membentuk ikatan kompleks dengan protein bakteri, menonaktifkan adhesi mikroorganisme serta mengganggu transportasi enzim dan protein ke dalam inti sel bakteri. Selain itu, flavonoid memiliki sifat antibakteri yang disebabkan oleh kemampuannya dalam merusak membrane sel bakteri (Khoirunnisa & Suwendar, 2019).

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini adalah penelitian eksperimental. Penelitian eksperimental bertujuan untuk memperoleh data pengamatan tentang pengaruh stimulasi listrik dan antibiotik terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* pada kulit sapi. Selain itu, penelitian ini juga mengamati pengaruh stimulasi listrik dan antibiotik terhadap penyembuhan luka mencit (*Mus musculus*) yang menderita diabetes melitus. Penelitian ini dilakukan sebagai upaya mencari alternatif pengobatan luka pada diabetes melitus.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari 2024 – Selesai. Tempat penelitian dilakukan 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

3.3.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 1 buah elektrostimulator, 1 buah mikropipet, jarum ose, 30 buah cawan petri, 4 buah erlenmeyer 250 ml, 1 unit LAF (*Laminar Air Flow*), *vortex mixer*, bunsen, timbangan analitik, *hot plate*, *bar magnetic stirrer*, inkubator, aluminium foil, spiritus, korek api, gelas ukur 10 ml, 100 buah *blue tip*, pinset, spatula, 2 buah *beaker glass* 500 ml, 60 buah botol flakon, autoklaf, botol semprot, *colony counter*, 10 buah suntik 1 ml/cc, timbangan hewan, kandang mencit beserta tempat makan dan minum, pencukur bulu, *Easy touch*

GCU meter device, strip glukotest, gunting bedah, alcohol swab, kamera, dan mikroskop cahaya (Olympus Cx-23).

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini menggunakan bakteri *Staphylococcus aureus*, media NA (*Nutrien Agar*), alkohol 70%, aquades, NaCl 0,9%, kulit sapi, mencit (*Mus musculus*), aloksan monohidrat, pakan mencit (BR 1), lidocain 2%, dan antibiotik alami biokatan.

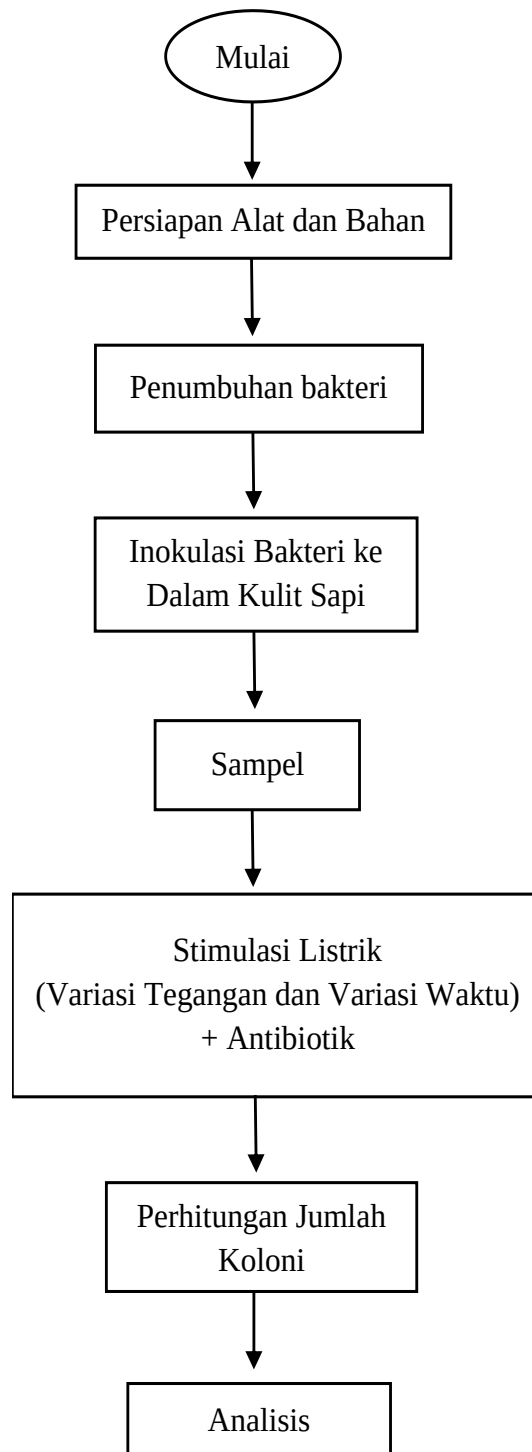
3.4 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen laboratorik yang memfokuskan pada bakteri *Staphylococcus aureus* sebagai sampel penelitian. Penonaktifan bakteri dilakukan menggunakan elektrostimulator dan antibiotik alami berupa biokatan. Pemilihan bakteri *Staphylococcus aureus* pada penelitian ini didasarkan pada perannya sebagai patogen umum yang sering terlibat dalam infeksi luka yang dapat menghambat proses penyembuhan terutama pada penderita diabetes.

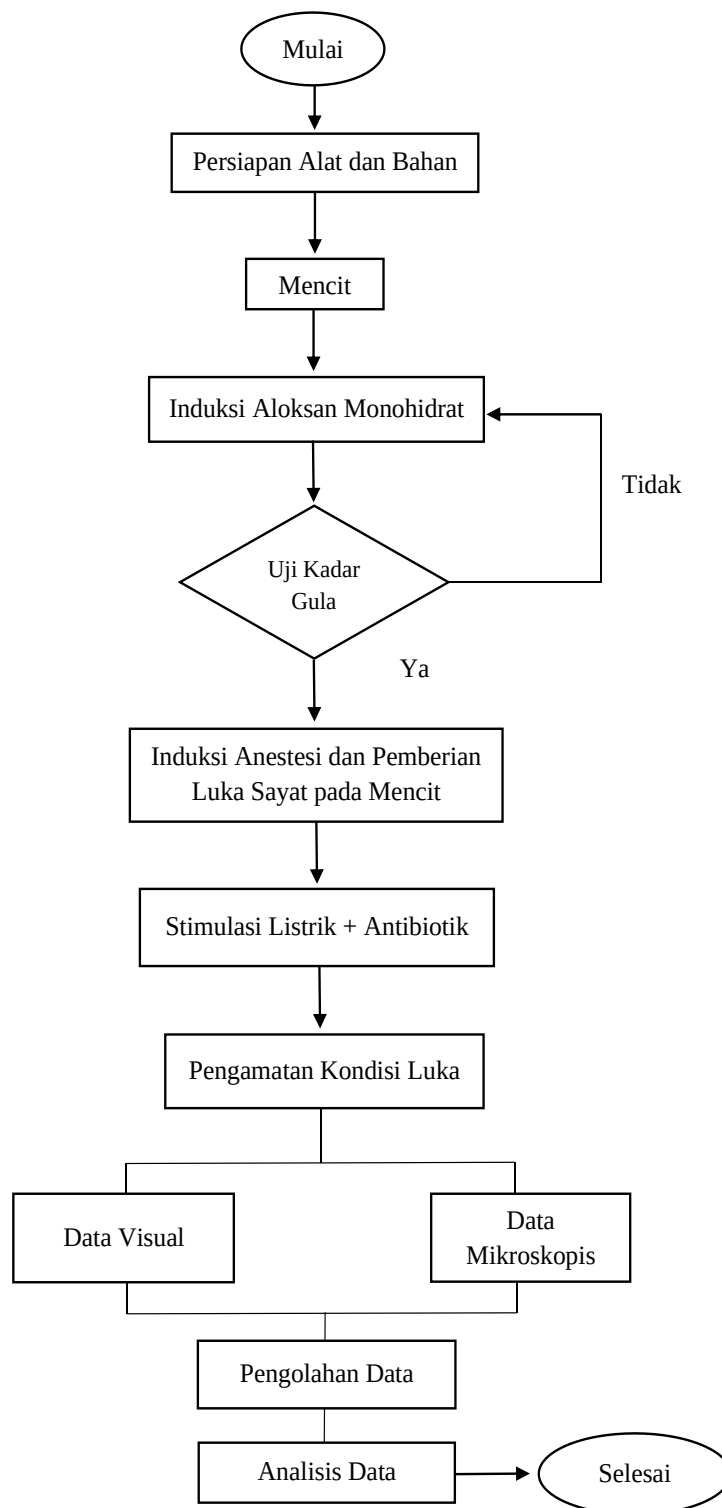
Stimulasi listrik diterapkan pada sampel dengan menggunakan arus sebesar 0,5 mA dan tegangan 10 volt. Variasi yang diterapkan meliputi tegangan berpulsa 50, 60, 70, dan 80 volt dan durasi waktu yang berbeda yaitu 5 menit, 10 menit, dan 15 menit. Setelah proses stimulasi, antibiotik alami berupa biokatan kemudian diaplikasikan pada sampel yang telah distimulasi.

Penelitian ini menggunakan Rancang Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari dua kelompok perlakuan. Variabel yang diukur dalam penelitian mencakup jumlah bakteri yang masih aktif pada kulit sapi dan kondisi luka sayat pada mencit yang mengalami diabetes. Jumlah bakteri yang masih aktif diukur dengan menggunakan

colony counter. Sementara pengamatan kondisi luka sayat pada mencit dilakukan secara *visual* dan mikroskopis. Gambaran lengkap mengenai mekanisme pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 dan 3.2.



Gambar 3.1. Diagram Alir Penonaktifan Bakteri *Staphylococcus aureus*



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

3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Bakteri

3.5.1.1 Sterilisasi

Semua peralatan yang akan digunakan dalam penelitian ini harus dalam keadaan steril. Sterilisasi dilakukan dengan tujuan untuk mencegah terjadinya kontaminasi alat dengan mikroba. Adapun cara yang dilakukan yaitu dengan mencuci peralatan terlebih dahulu kemudian dibilas menggunakan aquades. Setelah itu dimasukkan ke dalam oven untuk proses pengeringan. Kemudian *autoclave* pada suhu 121°C dengan tekanan 15 psi (per square inci) selama 15 menit. Untuk peralatan yang tidak tahan terhadap panas maka peralatan disterilisasi dengan menggunakan zat kimia berupa alkohol 70%.

3.5.1.2 Pembuatan Media NA (*Nutrien Agar*)

Serbuk media NA ditimbang sebanyak 0,96 gram kemudian ditambahkan dengan aquadest sebanyak 50 mL dalam *Erlenmeyer*. Campuran tersebut dipanaskan dengan menggunakan *hot plate* hingga homogen. Setelah mencapai homogenitas, campuran tersebut dimasukkan ke dalam dua tabung reaksi sebanyak 15 mL dan ditutup rapat dengan menggunakan kapas. Setelah itu, disterilisasi dengan menggunakan autoklaf pada suhu 121°C selama 15 menit. Media NA yang telah disterilisasi kemudian dituangkan ke dalam cawan petri yang steril dan dibiarkan hingga media memadat.

3.5.1.3 Penumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus*

Pembuatan biakan bakteri *Staphylococcus aureus*, langkah pertama dilakukan dengan menginokulasikan bakteri dengan menggunakan jarum ose pada permukaan medium miring NA secara aseptik (dekat dengan api Bunsen)

untuk mencegah kontaminasi. Proses inokulasi dilakukan dengan menggoreskan kultur bakteri dengan pola *zig-zag* pada permukaan media NA. Setelah diinokulasi, kemudian diinkubasikan dalam inkubator selama 24 jam dengan suhu konstan pada suhu 37°C. Proses ini bertujuan untuk memberikan kondisi optimal bagi pertumbuhan bakteri dalam media yang telah disiapkan.

3.5.1.4 Penyiapan Sampel Kulit Sapi

Kulit sapi dipotong menjadi ukuran 1x1x1 cm², kemudian disterilisasi dengan autoklaf selama 15 menit pada suhu 121°C dan tekanan 1 atm. Setelah disterilisasi, diambil satu ose bakteri dari media NA dan diinokulasikan ke dalam potongan kulit sapi tersebut. Setelah bakteri diinokulasi pada kulit sapi, kemudian diinkubasi ke dalam inkubator pada suhu 37°C selama 24 jam.

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 50, 60, 70, dan 80 volt. Setiap sampel diberikan 0,1 ml antibiotik, kemudian distimulasi selama 5, 10, dan 15 menit. Sampel No. 1 diambil dengan menggunakan pinset steril, dibersihkan dengan aquades sebanyak 3 kali, dan dimasukkan kedalam 10 mL NaCl 0,9% pada botol. Sampel tersebut kemudian di-vortex selama 1 menit untuk melepas bakteri. Selanjutnya, dilakukan pengenceran dengan mengambil sebanyak 0,1 mL dari kultur dan disebar pada media NA. Media NA tersebut kemudian diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C. Langkah-langkah tersebut diulangi dan setiap perlakuan dilakukan sebanyak 3 kali.

3.5.1.6 Perhitungan Jumlah Koloni Bakteri

Sampel yang akan diuji disiapkan bersama dengan cawan petri dan botol flakon, serta *blue tip* yang sudah disterilkan. Selanjutnya, disiapkan kapas, bunsen, korek api, tissue, mikropipet, dan media NA. Sampel yang akan diuji dihomogenkan dalam botol flakon menggunakan *vortex mixer*. Kemudian untuk pengenceran, disiapkan botol flakon steril dengan diisi 9 mL aquades dan diberi tanda sebagai pengenceran 10^{-1} . Sebanyak 1 mL dari suspensi sampel diambil dan dimasukkan ke dalam botol pengenceran 10^{-1} kemudian dihomogenkan. Langkah ini diulang untuk pengenceran 10^{-2} dan 10^{-3} . Selanjutnya, dibuat media NA dengan menghomogenkan media NA dan aquades, dan dituangkan pada cawan petri. Suspensi pada pengenceran 10^{-3} sebanyak 1 mL dituangkan ke dalam cawan petri yang berisi media NA. Seluruh proses dilakukan secara aseptis, dekat dengan api Bunsen. Cawan petri yang telah diisi kemudian dimasukkan ke dalam inkubator dengan posisi terbalik dan diinkubasi selama 24 jam pada suhu 37°C . Setelah itu, jumlah koloni bakteri dihitung dengan menggunakan *colony counter*. Perhitungan jumlah koloni bakteri dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

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

3.5.2 Mencit

3.5.2.1 Persiapan Hewan Uji

Hewan uji yang digunakan yaitu mencit putih jantan (*Mus musculus*) jantan yang berumur 60-65 hari dengan rata-rata berat badan 20 gram. Mencit dipilih sebagai hewan uji karena memiliki kemiripan organ, metabolisme, serta kebutuhan nutrisinya dengan manusia. Penelitian ini menggunakan 10 ekor

mencit yang dibagi ke dalam dua kelompok, yaitu kelompok kontrol dan kelompok perlakuan yang menerima stimulasi listrik serta antibiotik, masing-masing terdiri dari 5 ekor. Sebelum perlakuan, mencit diaklimatisasi selama 7 hari dengan tujuan agar dapat menyesuaikan diri dengan lingkungan barunya. Kemudian setiap mencit ditimbang dan diamati kesehatan fisiknya. Jika ada mencit yang sakit pada saat aklimatisasi, maka mencit tersebut diganti dengan mencit yang baru dengan kriteria yang sama. Mencit ditempatkan dalam kandang yang tertutup anyaman kawat dan diletakkan di ruangan dengan pencahayaan serta ventilasi yang baik. Kandang dibersihkan setiap hari, minimal 3 kali dalam seminggu untuk menjaga kesehatan mencit. Mencit diberi pakan berupa BR 1 dan minum secara *ad libitum*.

3.5.2.2 Induksi Aloksan pada Mencit

Penelitian ini menggunakan aloksan monohydrate untuk menginduksi diabetes pada mencit. Pembuatan larutan aloksan monohydrate yaitu dengan melarutkan serbuk aloksan sebanyak 48,38 mg dalam 10 ml NACL 0,9% hingga homogen. Proses ini harus dilakukan dengan cepat untuk menghindari evaporasi aloksan yang dapat mempengaruhi konsentrasi larutan.

Dosis aloksan diberikan kepada mencit dengan menyuntikkan larutan aloksan pada hari ke-8 setelah aklimatisasi. Mencit diposisikan menghadap kearah frontal hingga terlihat bagian abdomen. Kulit abdomen dibersihkan dengan swab alkohol dan dicubit untuk menemukan bagian ototnya. Aloksan disuntikkan perlahan menggunakan spuit 1 cc ke dalam rongga abdomen hingga mencapai ruang intraperitoneal. Setelah injeksi, area tersebut

dibersihkan kembali dengan swab alkohol. Mencit yang telah diinjeksi dibiarkan selama 3 hari, setelah itu diukur kadar glukosa darahnya.

3.5.2.3 Pengukuran Kadar Glukosa Darah

Kadar glukosa darah mencit diukur menggunakan glucometer *Easy touch*. Glukometer dikalibrasi dengan menggunakan kode strip yang sesuai, kemudian strip glukosa dipasang pada alat tersebut. Darah diambil dari pembuluh darah vena pada ujung ekor mencit jantan, dengan memotong sekitar 1-2 mm dari ujung ekor . setelah kemudian diteteskan pada strip glucometer. Kadar glukosa darah secara otomatis akan terbaca pada monitor glukosa. Pengukuran kadar glukosa darah dilakukan 3 hari setelah mencit diinduksi aloksan. Mencit dengan kadar glukosa darah mencapai 200 mg/dl atau lebih dapat dinyatakan menderita diabetes melitus.

3.5.2.4 Pembuatan Luka Sayat

Sebelum perlakuan, area punggung mencit dicukur untuk menghilangkan rambut dan memastikan kulit dalam kondisi bersih. Kemudian, area yang akan dilukai di anestesi dengan menggunakan Lidocaine 2% dengan dosis 0,05 mL untuk mengurangi rasa sakit dan ketidaknyamanan selama prosedur. Kemudian luka sayat dibuat sejajar dengan tulang punggung sepanjang 2 cm hingga mencapai lapisan subkutan dengan menggunakan silet tetra steril.

3.5.2.5 Perlakuan Stimulasi Listrik dan Antibiotik pada Mencit

Stimulasi listrik diterapkan menggunakan elektroda yang diletakkan pada area dekat luka, dengan memastikan kulit di area penerapan elektroda bebas dari bulu atau rambut untuk mencegah gangguan pada fungsi alat. Parameter listrik yang digunakan adalah sebesar 80 volt selama 15 menit untuk setiap sampel, dan

dilakukan setiap hari selama 7 hari. Setelah stimulasi listrik, kemudian antibiotik diaplikasikan secara langsung pada luka dengan dosis 0,1 ml dengan memastikan distribusinya merata di seluruh permukaan luka. Selanjutnya, kadar glukosa darah mencit diambil untuk membandingkan hasil sebelum dan sesudah perlakuan stimulasi listrik dan antibiotik.

3.5.2.6 Pengamatan Visual

Pengamatan visual dilakukan untuk mengevaluasi perubahan luka mencit secara langsung, yang mencakup pengukuran panjang dan lebar luka. Dokumentasi luka dilakukan dengan menggunakan kamera digital pada jarak dan intensitas pencahayaan yang konsisten. Foto diambil dengan memperhatikan posisi tetap agar hasil dokumentasi dapat dibandingkan secara akurat dari waktu ke waktu. Dokumentasi ini dilakukan untuk memantau perkembangan luka, termasuk perubahan ukuran dan karakteristik permukaan luka.

3.5.2.7 Pengamatan Preparat Histopatologi

Pengamatan secara histopatologi dilakukan pada preparat jaringan kulit dengan menggunakan mikroskop cahaya (Olympus Cx-23). Preparat histopatologi dipersiapkan dengan mengambil sampel jaringan dari luka, kemudian difiksasi untuk memastikan preservasi sel-sel dan jaringan. Sampel yang telah difiksasi selanjutnya dipotong menjadi irisan tipis dan ditempatkan di slide kaca sebelum diamati di bawah mikroskop. Pengamatan dilakukan dengan perbesaran 40x dan 100x untuk memperoleh gambaran rinci dari struktur seluler. Pengamatan ini meliputi parameter-parameter yang berperan dalam penyembuhan luka seperti pertumbuhan pada jaringan ikat (*fibroblast*), dan keberadaan sel radang (*makrofag*). Citra yang dihasilkan dari mikroskop

ditransfer ke komputer untuk ditampilkan di layar dan didokumentasikan secara digital.

3.6 Teknik Pengolahan Data

Data yang diperoleh kemudian diolah, berupa hasil perhitungan bakteri *Staphylococcus aureus* pada kulit sapi yang sudah diberi stimulasi arus listrik dan kondisi luka sayat mencit yang juga sudah diberi stimulasi arus listrik. Kemudian dicatat pada tabel berikut.

Tabel 3.1 Data Jumlah Koloni Bakteri *Staphylococcus aureus*

Tegangan pulsa (V)	Waktu (menit)	Jumlah Koloni Bakteri			Rata-rata
		(10 ³ CFU/mL)			
		1	2	3	(10 ³ CFU/mL)
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 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						
2						
3						
4						
5						
Rata- Rata						

Tabel 3.3 Data Panjang dan Lebar Luka Mencit

Sampel	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 Hasil Pengamatan *Visual* terhadap Warna Luka, Luka Kering, dan Pembentukan Keropeng.

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 kecokelatan.

* : luka lembab;

** : mulai mengering;

(*) : kering.

: tidak terbentuk keropeng;

: terbentuk keropeng;

(#) : keropeng mengelupas.

Tabel 3.5 Hasil Pengamatan Preparat Histopatologi

Kelompok	Perbesaran	
	10x	40x
Kontrol		
Perlakuan		

3.7 Teknik Analisis Data

Analisis statistik menggunakan program *Statistical Product and Service Solution* (SPSS). Uji statistik yang digunakan adalah uji faktorial berdasarkan Rancangan Acak Lengkap (RAL) untuk menentukan apakah terdapat perbedaan signifikan dalam pertumbuhan bakteri. Apabila hasil uji faktorial menunjukkan nilai yang signifikan, maka dilanjutkan dengan uji DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) untuk mengidentifikasi perbedaan spesifik antara kelompok perlakuan.

Pada kondisi luka, teknik analisis data yang digunakan meliputi pengamatan *visual* dan mikroskopis. Data *visual*, termasuk panjang, lebar, dan fisiologi luka, dianalisis secara deskriptif melalui pengukuran dan dokumentasi. Pengamatan mikroskopis dilakukan dengan mikroskop cahaya untuk menilai distribusi dan morfologi makrofag serta fibroblast.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Hasil Penelitian

Preparasi sampel dilakukan di Laboratorium Biofisika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Sampel yang digunakan adalah bakteri *Staphylococcus aureus* yang di inokulasikan pada potongan kulit sapi dengan ukuran $1 \times 1 \times 1$ cm². Penelitian ini dilakukan dengan memberikan stimulasi listrik pada sampel. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah EMS (*electrical muscle stimulation*) dengan arus sebesar 0,5 mA dan tegangan sebesar 10 V. Variasi tegangan pulsa yang diterapkan adalah 50, 60, 70, dan 80 volt dengan variasi waktu yang digunakan 5, 10, dan 15 menit serta pemberian antibiotik sebanyak 0,1 ml. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan tegangan yang optimum dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus*, yang kemudian diaplikasikan pada luka mencit yang menderita diabetes melitus untuk mengevaluasi potensi terapi dalam konteks penyembuhan.

4.1.1 Pengaruh Tegangan Pulsa Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus*

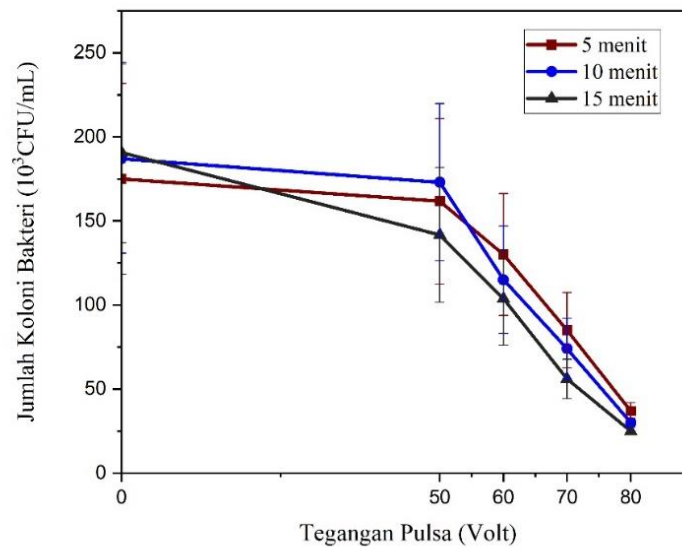
Pemberian stimulasi listrik terhadap pertumbuhan *Staphylococcus aureus* dilakukan dengan tegangan 10 V dan variasi nilai pulsa 50, 60, 70, 80 volt. Setiap variasi tegangan distimulasi dengan durasi waktu 5, 10, dan 15 menit. Sebelum distimulasi, setiap sampel diberi antibiotik sebanyak 0,1 ml. Data hasil penelitian dari pengaruh tegangan pulsa stimulasi listrik dan antibiotik terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Hasil Pengaruh Tegangan Pulsa Stimulasi Listrik dan Antibiotik 0,1 ml terhadap Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus*.

Tegangan pulsa (V)	Waktu (menit)	Jumlah Koloni Bakteri (10^3 CFU/mL)			Rata-rata (10^3 CFU/mL)
		1	2	3	
Kontrol	5	167	180	178	$175 \pm 56,84$
	10	185	190	186	$187 \pm 56,23$
	15	188	189	195	$190.66 \pm 53, 72$
50	5	170	155	160	$161.66 \pm 49,11$
	10	169	180	170	$173 \pm 46,71$
	15	135	140	150	$141.66 \pm 40,12$
60	5	143	141	106	$130 \pm 36,26$
	10	130	125	90	$115 \pm 31,94$
	15	122	101	88	$103.66 \pm 27,73$
70	5	90	85	80	$85 \pm 22,44$
	10	83	69	70	$74 \pm 18,16$
	15	50	75	43	$56 \pm 11,76$
80	5	36	45	30	$37 \pm 4,92$
	10	33	37	20	$30 \pm 2,5$
	15	28	25	22	25 ± 0

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa stimulasi listrik dan antibiotik dapat mempengaruhi bakteri *Staphylococcus aureus*. Jumlah rata-rata koloni bakteri *Staphylococcus aureus* pada kelompok kontrol (tanpa stimulasi listrik dan antibiotik) mengalami peningkatan konsisten dari $(175 \pm 56,84) \times 10^3$ pada waktu 5 menit menjadi $(190,66 \pm 53,72) \times 10^3$ pada waktu 15 menit. Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan bakteri terus meningkat seiring bertambahnya waktu tanpa adanya pengaruh dari stimulasi listrik dan antibiotik. Kemudian pada kelompok perlakuan dengan tegangan pulsa 50 volt, jumlah rata-rata koloni bakteri pada waktu 5 menit adalah $(161,66 \pm 49,11) \times 10^3$, meningkat menjadi $(173 \pm 46,71) \times 10^3$ pada 10 menit, dan kemudian menurun menjadi $(141,66 \pm 40,12) \times 10^3$ pada waktu 15 menit. Pada tegangan pulsa 60 volt, terdapat penurunan jumlah koloni bakteri

yang lebih konsisten. Jumlah rata-rata koloni pada waktu 5 menit adalah $(130 \pm 36,26) \times 10^3$, menurun menjadi $(115 \pm 31,94) \times 10^3$ pada 10 menit, dan menjadi $(103,66 \pm 27,73) \times 10^3$ pada waktu 15 menit. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan tegangan berpotensi meningkatkan efektivitas dalam mengurangi jumlah koloni bakteri. Kemudian pada tegangan pulsa 70 volt menunjukkan hasil yang lebih signifikan dalam mengurangi jumlah koloni bakteri, dengan jumlah rata-rata koloni menurun dari $(85 \pm 22,44) \times 10^3$ pada waktu 5 menit menjadi $(56 \pm 11,76) \times 10^3$ pada waktu 15 menit. Penurunan yang konsisten ini mengindikasikan bahwa tegangan ini cukup efektif dalam menurunkan jumlah koloni bakteri. Tegangan pulsa 80 volt menunjukkan penurunan jumlah koloni bakteri yang paling signifikan, dengan jumlah rata-rata koloni menurun dari $(37 \pm 4,92) \times 10^3$ pada 5 menit menjadi $(25 \pm 0) \times 10^3$ pada 15 menit. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan 80 volt efektif dalam mengurangi jumlah koloni bakteri *Staphylococcus aureus*, dengan hasil yang paling rendah tercatat pada 15 menit. Secara keseluruhan, data pada tabel 4.1 menunjukkan bahwa peningkatan tegangan dan durasi stimulasi listrik berkorelasi dengan penurunan jumlah koloni bakteri. Tegangan yang lebih tinggi dan waktu stimulasi yang lebih lama terbukti lebih efektif dalam menurunkan jumlah bakteri *Staphylococcus aureus*.



Gambar 4.1. Grafik Pengaruh Tegangan Pulsa Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus*.

Gambar 4.1 menunjukkan pengaruh tegangan pulsa stimulasi listrik dan antibiotik terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus*. Grafik yang dihasilkan dari data menunjukkan pola penurunan jumlah koloni bakteri *Staphylococcus aureus* seiring dengan meningkatnya tegangan dan lamanya waktu stimulasi listrik dan antibiotik. Pada kelompok kontrol (tanpa perlakuan stimulasi listrik) jumlah koloni bakteri meningkat seiring waktu dari $175 \pm 56,84$ pada waktu 5 menit menjadi $190,66 \pm 53,72$ pada waktu 15 menit. Namun, pada kelompok perlakuan dengan tegangan 50 volt, grafik menunjukkan adanya sedikit peningkatan jumlah koloni pada 10 menit sebelum kemudian menurun pada waktu 15 menit. Pada kelompok dengan tegangan 60 volt, 70 volt, dan 80 volt, grafik menunjukkan penurunan jumlah koloni yang signifikan seiring dengan bertambahnya waktu stimulasi. Terutama pada tegangan 80 volt, terlihat bahwa jumlah koloni bakteri menurun secara konsisten dari $37 \pm 4,92$ pada 5 menit menjadi 25 ± 0 pada waktu 15 menit.

Tabel 4.2 Hasil Uji Faktorial pada Jumlah Koloni Bakteri *Staphylococcus aureus*.

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: data					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	713055.333 ^a	15	47537.022	367.491	.000
tegangan	140970.978	4	35242.744	272.449	.000
waktu	1814.711	2	907.356	7.014	.003
tegangan * waktu	2649.289	8	331.161	2.560	.029
Error	3880.667	30	129.356		
Total	716936.000	45			

Berdasarkan tabel hasil uji faktorial di atas, tegangan pulsa dan variasi waktu terbukti memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penurunan jumlah bakteri *Staphylococcus aureus*, yaitu dengan nilai signifikansi kurang dari 0,05. Oleh karena itu, uji lanjut DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) dilakukan pada tegangan pulsa untuk membandingkan rata-rata masing-masing kelompok data, dengan tujuan mengidentifikasi tegangan pulsa yang memberikan pengaruh paling signifikan.

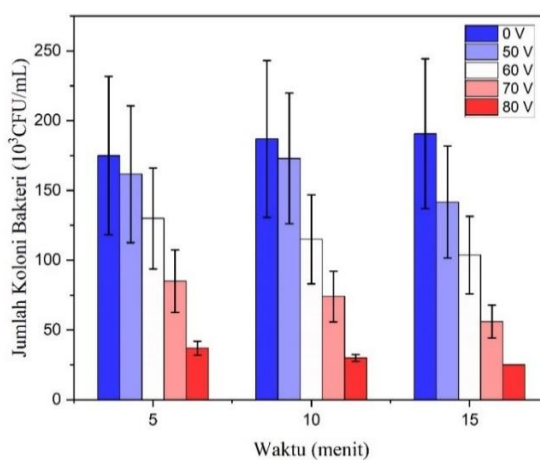
Tabel 4.3 Hasil Uji DMRT Tegangan terhadap Jumlah Koloni Bakteri

Tegangan Pulsa (Volt)	Jumlah Koloni Bakteri (CFU/ml)	Notasi Huruf
80	30,67	a
70	71,67	b
60	116,22	c
50	158,78	d
0	184,22	e

Tabel 4.3 menyajikan hasil analisis statistik mengenai pengaruh tegangan pulsa terhadap jumlah koloni bakteri. Pada tegangan pulsa 80 V, jumlah koloni bakteri tercatat paling rendah yaitu 30,67 CFU/ml, dan diberi notasi huruf "a". Notasi ini menunjukkan bahwa pada tegangan 80 volt, jumlah koloni bakteri secara signifikan lebih rendah dibandingkan dengan tegangan lainnya. Hal ini

mengindikasikan bahwa tegangan 80 Volt paling efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri. Kemudian pada kelompok kontrol (0 Volt), jumlah koloni bakteri tercatat paling tinggi yaitu 184,22 CFU/ml, yang diberi notasi huruf "e". Notasi ini menunjukkan bahwa tanpa adanya tegangan, jumlah koloni bakteri mengalami pertumbuhan maksimum dan tidak mengalami penghambatan. Perbedaan notasi huruf menandakan adanya perbedaan yang signifikan di antara kedua kelompok. Hasil analisis ini mengindikasikan bahwa pemberian tegangan pulsa yang lebih tinggi secara signifikan dapat mengurangi jumlah koloni bakteri, sedangkan pada kelompok kontrol yang tidak diberikan stimulasi listrik dan antibiotik pertumbuhan bakteri tidak mengalami penghambatan.

4.1.2 Pengaruh Waktu Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus*



Gambar 4.2. Grafik Pengaruh Waktu Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Pertumbuhan Bakteri *Staphylococcus aureus*.

Gambar 4.2 menunjukkan pengaruh waktu stimulasi listrik dan antibiotik terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus*. Hasil analisis data mengenai pengaruh waktu stimulasi listrik dan antibiotik terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* mengindikasikan adanya perbedaan signifikan antara

kelompok kontrol dan kelompok perlakuan dengan berbagai tingkat tegangan. Pada kelompok kontrol, grafik menunjukkan peningkatan jumlah koloni bakteri seiring dengan bertambahnya waktu stimulasi. Sebaliknya, pada kelompok perlakuan, jumlah koloni bakteri menurun secara konsisten pada setiap interval waktu (5, 10, dan 15 menit) untuk semua tingkat tegangan yang diterapkan (50, 60, 70, dan 80 V). Perlakuan dengan tegangan 80 V selama 15 menit menghasilkan penurunan koloni bakteri yang paling signifikan dibandingkan dengan perlakuan lainnya. Dengan demikian, data menunjukkan bahwa stimulasi listrik pada tegangan 80 V selama 15 menit adalah yang paling efektif dalam menghambat pertumbuhan *Staphylococcus aureus*.

Tabel 4.4. Hasil Uji Faktorial pada Jumlah Koloni Bakteri *Staphylococcus aureus*.

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: data					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	713055.333 ^a	15	47537.022	367.491	.000
tegangan	140970.978	4	35242.744	272.449	.000
waktu	1814.711	2	907.356	7.014	.003
tegangan * waktu	2649.289	8	331.161	2.560	.029
Error	3880.667	30	129.356		
Total	716936.000	45			

Berdasarkan tabel hasil uji faktorial di atas, pada variasi waktu terbukti memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penurunan jumlah bakteri *Staphylococcus aureus*, yaitu dengan nilai signifikansi kurang dari 0,05. Oleh karena itu, uji lanjut DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) dilakukan pada variasi waktu untuk membandingkan rata-rata masing-masing kelompok data, dengan tujuan mengidentifikasi waktu yang memberikan pengaruh paling signifikan.

Tabel 4.5 Hasil Uji DMRT Waktu terhadap Jumlah Koloni Bakteri

Waktu (menit)	Jumlah Bakteri (CFU/ml)	Notasi Huruf
15	103,40	a
10	115,80	b
5	117,73	b

Tabel 4.1 hasil uji DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) menunjukkan adanya perbedaan dalam efektivitas pengurangan jumlah koloni bakteri berdasarkan durasi waktu stimulasi. Hasil uji ini menghasilkan dua notasi huruf, yaitu "a" dan "b" yang mengindikasikan perbedaan signifikan antar perlakuan. Pada durasi stimulasi 15 menit, jumlah koloni bakteri tercatat paling rendah yaitu 103,40 CFU/ml. Hasil ini diberikan notasi huruf "a," yang menunjukkan bahwa jumlah koloni bakteri pada durasi ini secara statistik berbeda signifikan dari durasi lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa waktu stimulasi selama 15 menit, lebih efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri. Kemudian pada durasi stimulasi 10 menit dan 5 menit menghasilkan jumlah koloni bakteri yang lebih tinggi, masing-masing 115,80 CFU/ml dan 117,73 CFU/ml. Kedua hasil ini diberi notasi huruf "b," yang menandakan bahwa tidak ada perbedaan signifikan antara keduanya. Dengan demikian, waktu stimulasi selama 15 menit terbukti efektif dalam mengurangi jumlah koloni bakteri *Staphylococcus aureus*.

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

A. Kadar Glukosa Darah Mencit

Setelah menentukan tegangan optimum yang efektif untuk menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus*, stimulasi listrik kemudian diaplikasikan pada luka sayat pada mencit dengan tegangan pulsa 80 volt selama

15 menit. Untuk menciptakan model diabetes, mencit diinduksi menggunakan aloksan monohydrate secara intraperitoneal dengan dosis 4,83 mg/kg BB. Aloksan monohidrat bekerja dengan merusak sel-sel beta pankreas pada mencit, yang mengakibatkan penurunan produksi insulin yang bertugas mengontrol kadar glukosa darah. Kerusakan pada sel beta ini menyebabkan peningkatan kadar glukosa darah meningkat secara signifikan. Setelah diinduksi dengan aloksan, kadar glukosa darah pada mencit kemudian diukur dengan menggunakan glukometer. Mencit dianggap mengalami diabetes jika kadar glukosa darahnya mencapai atau melebihi 200 mg/dl (Sahara, *et al.*, 2019). Data terkait kadar glukosa darah sebelum dan setelah perlakuan dicatat dan disajikan dalam Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Hasil Uji Kadar Gula Darah Mencit Sebelum dan Sesudah Pemberian Stimulasi Listrik

No.	<u>Kelompok Kontrol</u>			<u>Presentase</u>	<u>Kelompok Perlakuan</u>			<u>Presentase</u>
	BB (gram)	Kadar <u>Glukosa</u> <u>Darah (mg/dl)</u>			BB (gram)	Kadar <u>Glukosa</u> <u>Darah (mg/dl)</u>		
		<u>Awal</u>	<u>Akhir</u>			<u>Sebelum</u> <u>Perlakuan</u>	<u>Sesudah</u> <u>Perlakuan</u>	
1	24	350	365	4%	22	341	335	-2%
2	27	410	390	-5%	26	439	423	-4%
3	25	379	370	-2%	21	362	357	-1%
4	21	375	387	3%	26	365	350	-4%
5	22	461	440	-5%	25	358	349	-3%
Rata-Rata	23,8	395	390,4	-1%	24	373	362,8	-3%

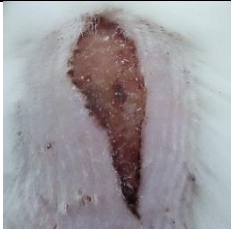
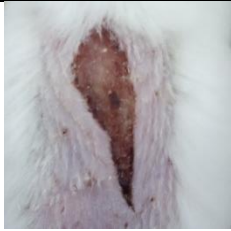
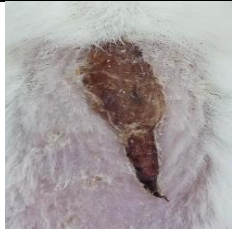
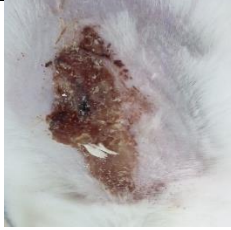
Tabel 4.6 menunjukkan hasil pengukuran kadar glukosa darah mencit sebelum dan sesudah diberikan stimulasi listrik. Pada kelompok kontrol, kadar glukosa darah awal tercatat 395 mg/dl, kemudian menurun menjadi 390,4 mg/dl pada akhir pengamatan, menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan yang signifikan. Sebaliknya, pada kelompok perlakuan yang menerima stimulasi listrik dengan tegangan 80 volt selama 15 menit, kadar glukosa darah sebelum perlakuan

yaitu sebesar 373 mg/dl dan menurun menjadi 362,8 mg/dl. Selisih penurunan kadar glukosa darah antara kelompok kontrol dan perlakuan adalah sebesar 5,6 mg/dl. Meskipun penurunan kadar glukosa darah pada kelompok perlakuan tidak mencapai kadar glukosa normal (<200 mg/dl), hasil ini tetap menunjukkan bahwa stimulasi listrik memiliki efek yang signifikan dalam mengurangi kadar glukosa darah dibandingkan dengan kelompok kontrol. Dengan demikian, meskipun kadar glukosa darah pada kelompok perlakuan masih berada pada tingkat diabetes, perbedaan penurunan yang signifikan dibandingkan kelompok kontrol mengindikasikan bahwa pemberian stimulasi listrik dengan tegangan pulsa sebesar 80 volt selama 15 menit terbukti dapat menurunkan kadar glukosa darah secara efektif.

B. Pengamatan *Visual* Luka Mencit

Pengamatan luka dilakukan setiap hari untuk melihat perubahan fisik yang terjadi pada daerah perlukaan. Mencit diamati perubahan-perubahan dalam proses penyembuhan luka secara *visual* dan pengamatan dimulai dari hari ke-0 hingga hari ke-7 pada setiap kelompok. Hasil pengamatan *visual* luka dapat dilihat pada tabel 4.6 dan tabel 4.7.

Tabel 4.7 Pengamatan Perkembangan Luka pada Mencit Diabetes

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			

Hasil pengamatan visual terhadap kondisi luka mencakup tiga indikator utama yaitu warna luka, tingkat kekeringan luka, dan pembentukan keropeng. Data terkait ketiga indikator ini disajikan dalam tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil Pengamatan *Visual* terhadap Warna Luka, Luka Kering, dan Pembentukan Keropeng.

[illegible]

Keterangan:

(+) : warna merah; * : luka lembab; # : tidak terbentuk keropeng;
++ : merah kecokelatan. ** : mulai mengering; ## : terbentuk keropeng;
 (*) : kering. (#): keropeng mengelupas.

Tabel 4.9 Pengukuran Panjang dan Lebar Luka Mencit selama 7 Hari

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

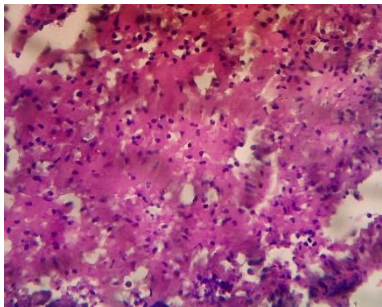
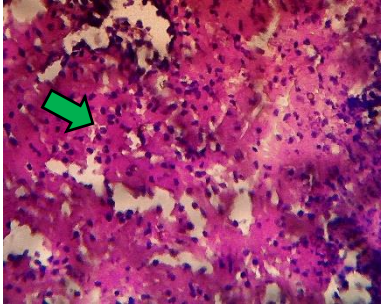
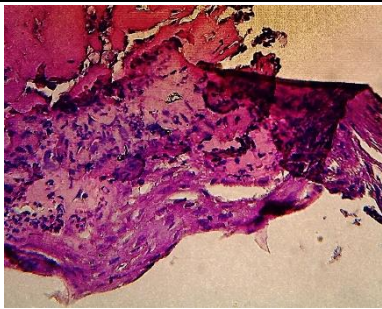
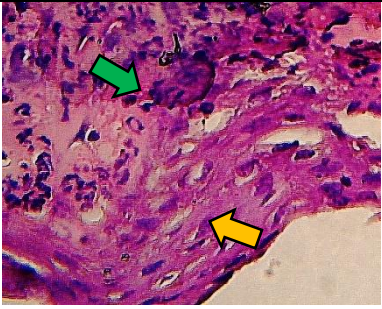
Analisis data menunjukkan perbedaan signifikan dalam perkembangan luka antara kelompok kontrol dan kelompok perlakuan selama 7 hari. Pada Tabel 4.7, terlihat bahwa pada kelompok kontrol mengalami penyembuhan yang lambat, dengan luka yang tetap terbuka dan hanya terbentuk sedikit keropeng pada hari ke tujuh. Ukuran luka pada kelompok hampir tidak berubah, baik dalam panjang maupun lebar dari hari pertama hingga hari ketujuh. Sebaliknya, pada kelompok perlakuan yang menerima stimulasi listrik dan antibiotik, menunjukkan perkembangan penyembuhan yang lebih cepat. Tabel 4.8 memperlihatkan kondisi luka pada hari ke-4 mulai mengering dan menunjukkan warna kecoklatan, serta sebagian telah membentuk keropeng. Pada hari ke-7, beberapa luka bahkan telah sembuh sepenuhnya yang ditandai dengan mengelupasnya keropeng. Meskipun beberapa luka pada kelompok perlakuan belum sepenuhnya menutup, hasil pengukuran menunjukkan bahwa panjang dan lebar luka pada kelompok perlakuan mengalami penurunan yang signifikan.

Secara keseluruhan, pemberian stimulasi listrik dan antibiotik terbukti dapat mempercepat proses penyembuhan luka pada mencit dibandingkan dengan kelompok kontrol. Pada kelompok perlakuan terlihat perkembangan yang jelas dalam penyembuhan luka, termasuk pengeringan luka, pembentukan keropeng, dan penurunan ukuran luka. Sebaliknya, kelompok kontrol menunjukkan penyembuhan yang lambat, dengan sedikit perubahan ukuran luka selama periode observasi. Hal ini menunjukkan bahwa stimulasi listrik efektif dalam mempercepat proses penyembuhan luka, dibandingkan dengan kondisi tanpa perlakuan.

C. Pengamatan Preparat Histopatologi

Pengamatan terhadap preparat jaringan kulit mencit dilakukan dengan menggunakan mikroskop cahaya (Olympus Cx-23). Penilaian histopatologis dilakukan secara dekskriptif pada perbesaran 10x dan 40x untuk mengidentifikasi parameter seperti perkembangan fibroblast dalam jaringan ikat dan keberadaan sel radang (*makrofag*) yang berperan dalam proses penyembuhan luka. Perbesaran 10x digunakan untuk memperoleh gambaran umum struktur jaringan, sementara perbesaran 40x digunakan untuk menganalisis struktur jaringan yang lebih rinci dan spesifik. Hasil observasi histopatologi dari kulit mencit disajikan dalam Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil Pengamatan Preparat Histopatologi

Kelompok	Perbesaran	
	10x	40x
Kontrol		
Perlakuan		

Keterangan:  Fibroblast;  Makrofag.

Tabel 4.11 Hasil Penilaian Parameter pada Preparat

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

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

Hasil pengamatan preparat hitopatologi di atas menunjukkan perbedaan signifikan dalam respon jaringan antara kelompok kontrol dan kelompok perlakuan. Pada kelompok kontrol (tidak menerima perlakuan), jumlah makrofag terlihat lebih dominan, sedangkan fibroblast tidak ditemukan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa proses inflamasi masih aktif, sementara fibroblast yang berperan dalam regenerasi jaringan belum mulai berfungsi. Sebaliknya, pada kelompok perlakuan

terdapat peningkatan jumlah fibroblast yang signifikan disertai dengan penurunan jumlah makrofag. Peningkatan fibroblast menandakan bahwa proses penyembuhan luka telah berlangsung, dimana fibroblast berperan penting dalam regenerasi dan pembentukan jaringan baru. Penurunan jumlah makrofag menandakan bahwa respon inflamasi mulai mereda. Dengan demikian, perlakuan yang diberikan terbukti efektif dalam mengubah dinamika seluler, memfasilitasi peralihan dari fase inflamasi menuju fase regenerasi dan penyembuhan jaringan.

4.2 Pembahasan

Perangkat stimulasi listrik yang diterapkan dalam penelitian ini adalah *Electronic Pulse Massager Physiotherapy* model JR-209A, yang diproduksi oleh Shenzhen Shunkanglai Technology Co, Ltd. Perangkat ini dilengkapi dengan elektroda yang dapat disesuaikan. Perangkat elektrostimulator yang digunakan dalam penelitian ini memiliki dua kutub, yaitu kutub positif (anoda) dan kutub negative (katoda). Pada penelitian ini, stimulasi listrik diterapkan pada sampel bakteri *Staphylococcus aureus* yang diinokulasikan pada kulit sapi, dengan tegangan searah sebesar 10 volt dan variasi tegangan pulsa 50, 60, 70 dan 80 volt. Durasi stimulasi yang diberikan yaitu 5, 10, dan 15 menit. Pengaplikasian stimulasi listrik pada hewan uji dilakukan pada area punggung mencit yang terluka, dengan elektroda ditempatkan di kedua sisi luka. Stimulasi listrik diberikan sehari setelah punggung mencit dilukai, dengan tegangan 80 volt dan durasi waktu 15 menit selama tujuh hari.

Staphylococcus aureus merupakan bakteri yang dipilih dalam penelitian ini karena kemampuannya dalam menyebabkan infeksi pada luka, khususnya pada pasien diabetes melitus. Bakteri ini adalah bakteri gram positif berbentuk bulat

dengan ukuran sekitar 0,7- 1,2 μm , bersifat fakultatif anaerob, dan tumbuh optimal pada suhu 37°C. Bakteri ini dapat menyebabkan infeksi terutama pada luka terbuka dengan memanfaatkan berbagai faktor virulensi seperti enzim dan toksin yang memicu peradangan dan pembentukan nanah. Infeksi yang disebabkan oleh *Staphylococcus aureus* dapat memperlambat proses penyembuhan dan memperpanjang waktu pemulihan.

Untuk mengatasi infeksi yang disebabkan oleh *Staphylococcus aureus*, penggunaan antibiotik merupakan strategi utama dalam mengatasi infeksi bakteri yang seringkali memperlambat proses penyembuhan luka. Penelitian ini menggunakan biokatan dengan dosis 0,1 ml, sebagai antibiotik berbasis bahan alami yang efektif dalam melawan bakteri. Salah satu bahan aktif yang terkandung dalam biokatan adalah *Azadirachta indica*, yang dikenal sebagai daun mimba. *Azadirachta indica* memiliki peran multifungsi dalam aktivitas antiinflamasi dan antimikroba, dengan mengandung berbagai jenis senyawa bioaktif seperti flavonoid, tannin, saponin, dan alkaloid (Ruwandha et al., 2021). Flavonoid berfungsi sebagai antioksidan, mempercepat proses penyembuhan luka dengan mendukung reepitelisasi dan meningkatkan kekuatan jaringan. Flavonoid sebagai antibakteri, merusak membrane sel bakteri dan mengganggu sintesis protein yang menyebabkan kematian pada sel bakteri. Sementara itu, tannin bersifat adstringen yang dapat membantu mengecilkan pori-pori kulit, mempercepat kontraksi luka, serta meningkatkan pembentukan fibroblast, dan menghambat pertumbuhan bakteri. Saponin memiliki aktivitas inflamasi yang dapat mengurangi edema, meningkatkan produksi kolagen dan mempercepat pembentukan jaringan baru. Saponin dengan sifat antimikrobanya mengganggu permeabilitas membrane sel

bakteri yang mengakibatkan kerusakan pada membrane sel (Fatimah et al., 2018). Alkaloid menunjukkan aktivitas antibakteri dengan merusak membran sel bakteri, menghambat pembelahan sel dan mendukung proses penyembuhan luka.

4.2.1 Pengaruh Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Jumlah Bakteri

Staphylococcus aureus

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian stimulasi listrik dan antibiotik dengan variasi tegangan serta durasi waktu memiliki pengaruh signifikan terhadap penurunan jumlah bakteri *Staphylococcus aureus*. Berdasarkan data hasil penelitian menunjukkan penurunan jumlah bakteri seiring dengan peningkatan tegangan dan durasi waktu stimulasi.

Pada tegangan 50, 60, 70, dan 80 volt dengan durasi waktu stimulasi 5, 10, dan 15 menit menunjukkan penurunan jumlah koloni yang signifikan dibandingkan dengan kelompok kontrol yang tidak diberi perlakuan. Namun, pada tegangan 50 V terjadi fluktuasi, dimana jumlah bakteri meningkat pada waktu 10 menit. Hal ini menunjukkan bahwa tegangan 50 volt belum cukup efektif untuk menghambat atau membunuh bakteri. Fluktuasi ini disebabkan oleh respons adaptif bakteri terhadap stress listrik, dimana arus listrik meningkatkan permeabilitas membrane sel bakteri. Peningkatan permeabilitas menyebabkan bakteri beradaptasi dengan lingkungan internya, sehingga bakteri dapat bertahan dan berkembang meskipun dialiri arus listrik.

Berdasarkan hasil uji analisis statistik, variasi tegangan dan durasi stimulasi terbukti secara signifikan memengaruhi jumlah bakteri *Staphylococcus aureus*, dengan nilai signifikansi $p < 0,05$. Uji lanjut DMRT (*Duncan's Multiple Range Test*) menunjukkan bahwa pada tegangan 80 V memberikan hasil penurunan jumlah

koloni paling signifikan, dengan rata-rata 30,67 CFU/ml, berbeda signifikan dibandingkan tegangan lainnya. Kemudian, durasi stimulasi 15 menit menghasilkan penghambatan bakteri yang paling efektif dengan jumlah koloni terendah sebesar 103,40 CFU/ml, berbeda signifikan dari durasi stimulasi lainnya. Durasi ini secara statistik lebih efektif dibandingkan dengan durasi 10 dan 15 menit, yang menunjukkan bahwa semakin lama bakteri diberikan stimulasi, semakin besar pengaruhnya dalam menekan pertumbuhan bakteri. Dari data hasil tersebut menunjukkan bahwa stimulasi listrik pada tegangan pulsa 80 volt dengan waktu stimulasi 15 menit terbukti paling efektif dalam menurunkan jumlah koloni *Staphylococcus aureus*. Hal ini sesuai dengan teori, dimana penurunan jumlah mikroorganisme sebanding dengan peningkatan tegangan, durasi, dan jumlah pulsa listrik yang diterapkan. Semakin tinggi tegangan dan semakin lama waktu stimulasi, semakin besar penurunan jumlah bakteri *Staphylococcus aureus*.

Stimulasi listrik bekerja melalui dua mekanisme yang dapat menyebabkan kematian sel, yaitu efek termal dan elektrolisis. Efek termal terjadi karena arus listrik yang mengalir melalui jaringan menyebabkan tumbukan antar molekul, sehingga energi listrik diubah menjadi energi panas. Berdasarkan Hukum Joule, peningkatan suhu ini sebanding dengan arus listrik yang mengalir melalui konduktor. Peningkatan suhu akibat stimulasi ini menyebabkan perpindahan energi panas ke bakteri yang berada di sekitar daerah luka. Ketika suhu lingkungan melebihi ambang batas maksimum pertumbuhan bakteri, enzim dan asam nukleat di dalam bakteri akan mengalami denaturasi, mengakibatkan metabolisme sel berhenti dan bakteri mati (Diehr P.E., 2014). Suhu yang terlalu tinggi dapat menghambat

pertumbuhan mikroorganisme dengan mengakibatkan kerusakan pada struktur seluler.

Selain itu, stimulasi arus listrik juga memicu elektroporasi, yaitu peningkatan permeabilitas dinding sel bakteri akibat adanya medan listrik. Proses ini menyebabkan pori-pori pada membran sel membesar dan menjadi lebih permeabel, sehingga partikel eksternal masuk ke dalam sel. Akibatnya, sel akan mengalami pembengkakan dan lisis ketika partikel tersebut tidak dapat lagi ditahan oleh membran (Apriliawan, 2012). Peningkatan energi pada membran sel dapat menyebabkan terbentuknya pori hidrofobik yang berkembang menjadi pori amfifilik, memungkinkan terjadinya difusi bebas antar molekul di dalam dan di luar sel. Pada akhirnya, peningkatan tegangan listrik akan menyebabkan porositas membran meningkat, yang kemudian memicu lisis dan kematian bakteri.

Ketika bakteri diberi stimulasi listrik dengan tegangan tinggi, maka muatan pada molekul dalam membrane sel akan terpisah sehingga terjadilah proses elektrolisis. Efek elektrolisis yang dihasilkan dari stimulasi arus listrik juga berkontribusi pada kerusakan sel bakteri. Elektrolisis merupakan proses pemecahan suatu elektrolit oleh arus listrik. Pada proses elektrolisis, muatan positif dan negatif pada membran sel terpisah akibat aliran arus listrik, di mana ion kation akan bergerak menuju elektroda negatif (katoda) dan ion anion menuju elektroda positif (anoda). Pemisahan muatan ini meningkatkan potensial transmembran sehingga permeabilitas membrane sel meningkat secara signifikan. Jika tekanan akibat masuknya partikel eksternal melebihi kapasitas membran, sel akan mengalami lisis dan akhirnya mati.

Selain stimulasi listrik, penggunaan antibiotik efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri. Daun mimba (*Azadirachta indica*) diketahui mengandung berbagai senyawa aktif seperti alkaloid, saponin, tannin, steroid, dan flavonoid yang berperan penting dalam aktivitas antibakteri. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sarkar et al., (2016) menunjukkan bahwa ekstrak daun mimba dapat menghambat pembentukan biofilm yang dihasilkan oleh *Staphylococcus aureus* melalui mekanisme kerusakan membrane sel, yang mengakibatkan disintegrasi sel dan lisis. Studi lain oleh Andhiarto et al., (2019) mencatat bahwa ekstrak etanol dapat mencegah penyebaran *Staphylococcus aureus* dengan zona hambat mencapai 12,066 mm yang menunjukkan daya hambat yang kuat. Alkaloid bekerja dengan mengganggu struktur dan fungsi membrane sel bakteri, yang dapat menyebabkan kematian bakteri. Saponin berperan sebagai surfaktan alami yang dapat merusak membrane sel dan menghambat pembentukan biofilm. Tanin memiliki sifat anstringen yang menghambat pengendapan protein bakteri, sehingga mengganggu proses metabolisme bakteri (Rahmawati et al., 2024).

Kombinasi stimulasi listrik dan antibiotik alami dari ekstrak daun mimba menunjukkan potensi yang lebih besar dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus*. Stimulasi listrik efektif dalam menyebabkan kerusakan sel melalui mekanisme termal dan elektrolisis, sedangkan penggunaan antibiotik seperti ekstrak daun mimba merusak membran dan menghambat pembentukan biofilm. Dengan demikian, kombinasi dari stimulasi listrik dan pemberian antibiotik terbukti efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri.

4.2.2 Pengaruh Stimulasi Listrik terhadap Kadar Glukosa Darah

Setelah melewati masa aklimatisasi selama 7 hari, mencit disuntik dengan aloksan monohydrate untuk menginduksi diabetes melitus. Aloksan merupakan agen diabetogenik yang umum digunakan dalam penelitian hewan coba karena efektivitasnya dalam meniru kondisi hiperglikemia yang menyerupai diabetes melitus tipe 1 pada manusia. Pada hari ke-4 setelah penyuntikan, kadar glukosa darah diukur dengan menggunakan glucometer *Easy Touch*. Mencit dianggap diabetes jika kadar glukosa darah melebihi 200 mg/dL. Pada penelitian ini, kadar glukosa darah mencit yang diinduksi aloksan berkisar antara 300 hingga 400 mg/dL yang menandakan kondisi hiperglikemia.

Setelah dipastikan mengalami hiperglikemia, mencit kemudian diberikan perlakuan berupa stimulasi listrik dengan tegangan 80 volt selama 15 menit selama 7 hari. Tegangan dan durasi ini berdasarkan hasil penelitian pada bakteri yang menunjukkan efektivitasnya dalam mematikan bakteri. Kadar glukosa darah diukur sebelum dan setelah perlakuan untuk membandingkan hasilnya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa stimulasi listrik dapat menurunkan kadar glukosa darah pada mencit diabetes. Berdasarkan data yang tercantum pada Tabel 4.6, terlihat perbedaan kadar glukosa darah antara kelompok sebelum dan sesudah perlakuan. Pada kelompok kontrol yang tidak diberikan stimulasi listrik, rata-rata kadar glukosa awal tercatat sebesar 395 mg/dL dan mengalami sedikit penurunan menjadi 390,4 mg/dL pada akhir penelitian. Sebaliknya, pada kelompok perlakuan sebelum diberikan stimulasi listrik dengan tegangan 80 volt selama 15 menit, kadar glukosa darah awal yaitu sebesar 373 mg/dL kemudian menurun menjadi 362,8 mg/dL. Perbedaan ini menandakan bahwa kelompok perlakuan

mengalami penurunan kadar glukosa darah yang lebih besar, yaitu selisih 10,2 mg/dL, dibandingkan dengan kelompok kontrol yang hanya mengalami penurunan sebesar 4,6 mg/dL.

Berdasarkan hasil analisis, tidak ditemukan perbedaan yang signifikan secara statistik antara rata-rata kadar glukosa darah pada kelompok 1 (kontrol) dan kelompok 2 (perlakuan), yaitu dengan signifikansi $> 0,05$. Namun, ukuran efek menunjukkan adanya kecenderungan perbedaan. Kelompok 1, yang merupakan kelompok kontrol tampak memiliki kadar glukosa darah yang lebih tinggi dibandingkan kelompok 2, yang mendapat perlakuan stimulasi. Dari hasil pengamatan data, pemberian stimulasi menunjukkan efektivitas dalam membantu menurunkan kadar glukosa darah. Pada kelompok perlakuan, terlihat penurunan kadar glukosa darah secara konsisten di setiap sampel, sedangkan pada kelompok kontrol beberapa terjadi fluktuasi, dengan beberapa sampel yang menunjukkan peningkatan kadar glukosa darah. Hal ini mengindikasikan bahwa stimulasi listrik efektif dalam menurunkan kadar glukosa darah meskipun tidak cukup kuat untuk menghasilkan perbedaan signifikan dalam uji statistik secara keseluruhan.

Hasil ini sejalan dengan penelitian terdahulu oleh Devi (2019), yang membuktikan bahwa pemberian stimulasi listrik dapat mempengaruhi kadar glukosa darah. Dalam penelitiannya, kelompok kontrol yang tidak menerima stimulasi listrik mengalami penurunan kadar glukosa darah sebesar 0,2 mg/dl sedangkan pada kelompok perlakuan yang menerima stimulasi listrik menunjukkan penurunan yang signifikan sebesar 24 mg/dL. Penelitian lain yang dilakukan oleh Ibrahim et al., (2010) juga membuktikan bahwa terapi dengan menggunakan medan listrik berpengaruh terhadap penurunan kadar glukosa darah. Pada penelitian

tersebut, frekuensi 15 kHz terbukti sebagai frekuensi yang paling efektif dengan tingkat keberhasilan tertinggi dalam menurunkan kadar glukosa darah pada tikus yang menderita diabetes melitus.

Stimulasi listrik mempengaruhi kadar glukosa darah melalui berbagai mekanisme. Medan listrik yang dihasilkan dapat mempengaruhi muatan listrik dalam jaringan tubuh. Perubahan muatan listrik ini mempengaruhi arus listrik yang mengalir ke seluruh tubuh. Perubahan ini menstimulasi kerja sistem saraf dan otot melalui perubahan beda potensial pada membran sel.

Selain itu, stimulasi listrik menyebabkan otot berkontraksi secara berulang, mirip dengan efek dari aktivitas fisik. Kontraksi berulang ini meningkatkan metabolisme otot, sehingga otot menggunakan lebih banyak glukosa dari darah sebagai sumber energi. Stimulasi pada daerah perifer menyebabkan pelepasan neuropeptida di jaringan sekitar, yang meningkatkan mikrosirkulasi dan memperbaiki penyimpanan glukosa di otot. Proses ini membantu mengurangi kadar glukosa darah dengan meningkatkan penyerapan glukosa oleh jaringan otot (Belivani et al., 2015).

Penurunan kadar glukosa darah ini juga didukung oleh mekanisme yang melibatkan sumbu hipotalamus-pituitari-adrenal. Stimulasi listrik mempengaruhi sumbu ini, yang mengakibatkan penurunan produksi kortisol di korteks adrenal. Kortisol berperan penting dalam meningkatkan produksi glukosa melalui glikoneogenesis dan menghambat penyerapan glukosa oleh otot rangka dan jaringan adipose. Dengan menurunnya produksi kortisol, terjadi penurunan produksi glukosa serta peningkatan penyerapan glukosa oleh otot rangka (Catalogna et al., 2016). Hasil penelitian menunjukkan bahwa stimulasi listrik

dengan tegangan 80 volt selama 15 menit efektif dalam menurunkan kadar glukosa darah pada mencit diabetes, meskipun kadar glukosa belum mencapai tingkat normal.

4.2.3 Pengaruh Stimulasi Listrik dan Antibiotik terhadap Perkembangan

Kondisi Luka Mencit Diabetes Melitus

Stimulasi listrik dan antibiotik memiliki kontribusi signifikan dalam mempercepat proses penyembuhan luka pada mencit diabetes melitus. Proses penyembuhan luka adalah rangkaian kompleks yang terdiri dari beberapa tahap, yakni hemostasis, inflamasi, proliferasi, dan remodelling. Pada fase hemostasis, pembekuan darah terjadi untuk menghentikan perdarahan. Fase inflamasi ditandai dengan kedatangan sel-sel imun, seperti neutrofil dan makrofag, yang berfungsi membersihkan jaringan dari bakteri dan sel mati. Selama fase proliferasi, fibroblas memproduksi kolagen, membentuk jaringan granulasi yang memperbaiki struktur kulit, dan pembuluh darah baru (angiogenesis) terbentuk untuk mensuplai oksigen dan nutrisi ke jaringan yang baru terbentuk. Fase remodeling kemudian melibatkan penyusunan ulang kolagen dan penguatan jaringan baru.

Penelitian ini mengevaluasi perkembangan kondisi luka mencit diabetes melitus melalui indikator visual yang mencakup panjang dan lebar luka, perubahan warna, pembentukan keropeng, dan melalui indikator mikroskopis, termasuk jumlah makrofag dan fibroblas. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pada kelompok mencit yang diberi stimulasi listrik, perkembangan kondisi luka berlangsung lebih cepat dibandingkan dengan kelompok kontrol. Percepatan penyembuhan ini mulai terlihat sejak hari ketiga, ditandai dengan pengeringan luka dengan warna kecokelatan, serta perubahan ukuran panjang dan lebar luka secara

bertahap setiap harinya. Pada hari ke tujuh, beberapa luka pada kelompok perlakuan telah mengalami penyembuhan total, ditandai dengan pengelupasan keropeng dan regenerasi jaringan yang sempurna. Sebaliknya, pada kelompok kontrol luka menunjukkan penyembuhan yang lebih lambat dengan luka yang masih basah dan tidak menunjukkan perubahan ukuran yang signifikan.

Dari prespektif histopatologi, kelompok perlakuan menunjukkan peningkatan jumlah fibroblast yang signifikan, menandakan aktivitas proliferasi jaringan yang optimal. Fibroblast, terutama miofibroblast berperan dalam kontraksi luka, yang mempercepat penutupan luka. Selain itu, penurunan jumlah makrofag pada kelompok perlakuan menunjukkan bahwa inflamasi berakhir lebih cepat, memungkinkan transisi ke fase proliferasi dan regenerasi jaringan. Sebaliknya, pada kelompok kontrol jumlah makrofag tetap tinggi, menunjukkan bahwa proses inflamasi masih berlangsung yang menghambat penyembuhan.

Penyebab utama lambatnya penyembuhan luka pada kelompok kontrol adalah tingginya kadar glukosa darah pada mencit yang menderita diabetes melitus. Kadar glukosa darah yang tinggi dapat mempengaruhi kondisi luka yang memperlambat proses penyembuhan. Hiperglikemia mengganggu fungsi sel-sel imun, menghambat migrasi dan fungsi makrofag dan fibroblast yang esensial dalam proses penyembuhan. Selain itu kadar glukosa yang tinggi juga menyebabkan peningkatan stress oksidatif dan pembentukan produk akhir glikasi lanjutan (Ages), yang mengakibatkan kerusakan jaringan dan memperlambat regenerasi. Pada kelompok kontrol, tingginya kadar glukosa menyebabkan proses inflamasi yang berkepanjangan dan penurunan aktivitas fibroblast, sehingga luka sembuh dengan sangat lambat. Sebaliknya, pada kelompok perlakuan stimulasi listrik berperan

dalam menurunkan kadar glukosa darah, yang mendukung proses penyembuhan luka menjadi cepat. Dengan kadar glukosa yang lebih rendah, luka pada kelompok perlakuan tidak hanya lebih cepat mengalami proses proliferasi, tetapi juga menunjukkan peningkatan regenerasi jaringan dan penutupan luka yang lebih cepat dibandingkan dengan kelompok kontrol.

Mekanisme stimulasi listrik dalam mempercepat penyembuhan luka melibatkan beberapa aspek fisiologis. Tubuh manusia berfungsi sebagai sistem bioelektrik yang alami, di mana medan listrik memiliki peran penting dalam regulasi seluler dan penyembuhan luka. Rangsangan listrik eksternal meniru medan listrik endogen yang sudah ada di tubuh. Saat diaplikasikan ke area luka, stimulasi listrik memperkuat aliran listrik endogen, yang membantu mengurangi tahanan listrik di sekitar luka dan memulihkan kapasitansi seluler yang hilang akibat cedera. Arus listrik yang diperkuat ini meningkatkan aktivitas sel, seperti proliferasi fibroblas dan produksi kolagen, yang esensial untuk pembentukan jaringan granulasi.

Selain itu, stimulasi listrik memperbaiki fungsi mitokondria dengan meningkatkan sintesis ATP (adenosine triphosphate), yang merupakan sumber energi utama bagi proses perbaikan sel. Dengan meningkatnya ATP, transport aktif membran diperbaiki, memungkinkan masuknya nutrisi dan ion penting ke dalam sel yang rusak, serta mendukung regenerasi jaringan baru. Stimulasi listrik juga meningkatkan migrasi dan proliferasi sel melalui aktivasi jalur sinyal intraseluler yang melibatkan protein kinase dan *growth factors*, seperti *epidermal growth factor* (EGF) dan *vascular endothelial growth factor* (VEGF). Hal ini berkontribusi pada pengerahan makrofag dan neutrofil ke area luka, yang mempercepat pembersihan

jaringan dari patogen dan meningkatkan penyembuhan. Stimulasi listrik juga mempengaruhi proses angiogenesis, dimana pembentukan pembuluh darah baru menyediakan suplai oksigen dan nutrisi yang adekuat bagi sel-sel yang sedang beregenerasi. Peningkatan suplai darah juga membantu mengurangi infeksi dan mempercepat penyembuhan.

Pemberian biokatan sebagai antibiotik alami mempercepat penyembuhan luka dengan menghambat pertumbuhan bakteri dan mengurangi inflamasi. Dalam penelitian ini, antibiotik diterapkan secara langsung pada area luka dengan dosis 0,1 ml. Biokatan mengandung senyawa aktif seperti *Azadirachta indica* (daun mimba) yang memiliki sifat antimikroba dan antiinflamasi. Berbagai senyawa aktif dalam *Azadirachta indica* meliputi flavonoid, nimbidin, tannin, saponin, dan alkaloid. Flavonoid berperan sebagai antioksidan dan antiinflamasi, sementara alkaloid menghambat pembelahan bakteri. Saponin, tannin, dan nimbidin berperan dalam mengurangi edema, mempercepat regenerasi jaringan, dan mengontrol peradangan dengan menurunkan produksi NO dan PGE2. *Azadirachta indica* menghambat pertumbuhan dan proliferasi bakteri, serta mengurangi peradangan yang sering memperlambat proses penyembuhan luka. Selain itu, nimbin mempercepat proses reepitelisasi dan mengurangi kerusakan jaringan yang disebabkan oleh infeksi bakteri (Mustamu, et al., 2016).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa stimulasi listrik secara signifikan mempercepat proses penyembuhan luka, serta mendorong regenerasi jaringan lebih cepat. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh Bouzarjomehri et al., yang berhasil membuktikan bahwa pemberian stimulasi listrik pada frekuensi 20 Hertz efektif dalam mempercepat penyembuhan luka pada tikus. Penelitian lain yang

dilakukan oleh Rajendran et al., mendukung penggunaan stimulasi listrik untuk meningkatkan sirkulasi darah, terutama pada pasien dengan ulkus diabetikum.

Stimulasi listrik juga menunjukkan efek antibakteri yang signifikan, dimana pada tegangan 80 volt selama 15 menit efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus*. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh Daeschlein et al., yang menunjukkan bahwa arus listrik mampu menurunkan jumlah bakteri patogen secara signifikan, terutama pada bakteri penyebab infeksi seperti *Staphylococcus aureus*. Penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Tirono et al., (2022) juga mengungkapkan bahwa stimulasi listrik efektif dalam mempercepat regenerasi jaringan dan menunjukkan aktivitas antibakteri dengan menghambat pertumbuhan bakteri patogen.

Oleh karena itu, kombinasi antara stimulasi listrik dan antibiotik alami terbukti efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri penyebab infeksi seperti *Staphylococcus aureus* dan mempercepat penyembuhan luka sayat pada mencit yang menderita diabetes. Hal ini menegaskan bahwa stimulasi listrik memiliki potensi besar sebagai terapi tambahan dalam pengelolaan luka kronis, meskipun mekanisme kerjanya memerlukan penelitian lebih lanjut untuk dipahami secara lebih mendalam.

4.3. Integrasi terhadap Al Quran

Dalam Islam, usaha untuk memperoleh kesembuhan melalui ikhtiar sangat dianjurkan. Ikhtiar merupakan usaha yang dilakukan manusia dalam menghadapi penyakit dan kesulitan. Rasulullah SAW mengajarkan bahwa mencari pengobatan adalah bagian dari ikhtiar yang harus dilakukan oleh umat manusia. Dalam sebuah hadits yang diriwayatkan oleh Al-Bukhari, Rasulullah SAW bersabda:

تَدَاوُوا عِبَادَ اللَّهِ فَإِنَّ اللَّهَ لَمْ يَجْعَلْ لِدَاءٍ إِلَّا قَدْ جَعَلَ لَهُ شِفَاءً

Artinya: “Berobatlah wahai hamba-hamba Allah, karena Allah tidak menjadikan penyakit melainkan Dia juga menjadikan obatnya.” (HR. Al-Bukhari)

Hadits ini menegaskan bahwa mencari pengobatan adalah bagian dari ikhtiar yang dianjurkan. Penggunaan stimulasi listrik dan antibiotik dalam penyembuhan luka mencerminkan usaha yang sejalan dengan prinsip Islam. Stimulasi listrik, yang bertujuan mempercepat penyembuhan dengan meningkatkan aktivitas seluler dan sirkulasi darah, serta antibiotik untuk mengatasi infeksi adalah bentuk ikhtiar berbasis pada ilmu pengetahuan dan teknologi.

Islam mendorong umatnya untuk berikhtiar dengan metode yang efektif dan sesuai syariat. Stimulasi listrik, sebagai metode pengobatan modern merupakan salah satu bentuk ikhtiar yang dapat diterima selama tidak melanggar hukum Islam. Penggunaan stimulasi listrik dalam penelitian ini mencerminkan pemanfaatan teknologi medis yang shahih, sesuai dengan ajaran Islam.

Namun, perlu diingat bahwa ikhtiar manusia harus disertai dengan keyakinan bahwa kesembuhan yang sebenarnya berasal dari Allah SWT. Hal ini terdapat dalam AL Quran Surah Ash-Syu'ara ayat 80:

وَإِذَا مَرَضْتُ فَهُوَ يَشْفِينِ

Artinya: “Dan apabila aku sakit, Dialah yang menyembuhkan aku”.

Ayat ini mengingatkan bahwa pada hakikatnya, bukan terapis, metode terapis, atau obat yang memiliki kekuatan untuk memberikan kesembuhan, melainkan atas izin dan kehendak Allah. Dalam menghadapi penyakit dan kesulitan, hendaklah manusia berserah diri sepenuhnya kepada Allah sebagai Dzat Yang Maha Menyembuhkan, disertai ikhtiar dengan cara yang sesuai dengan syariat Islam (Padilah, 2024).

Selain itu, Islam juga menekankan pentingnya menjaga kesehatan agar tidak terjerumus dalam kebinasan. Surat Al-Baqarah ayat 195 mengingatkan:

وَأَنْفِقُوا فِي سَبِيلِ اللَّهِ وَلَا تُلْقُوا بِأَيْدِيكُمْ إِلَى التَّهْلُكَةِ وَأَحْسِنُوا ۚ إِنَّ اللَّهَ يُحِبُّ
الْمُحْسِنِينَ

Artinya: “Dan infakkanlah (sebagian harta) kamu di jalan Allah dan janganlah kamu menjatuhkan dirimu sendiri ke dalam kebinasaan. Dan berbuat baiklah; sesungguhnya Allah menyukai orang-orang yang berbuat baik.” (QS. Al-Baqarah: 195)

Ayat ini mengajarkan bahwa menjaga kesehatan adalah amanah yang harus dipenuhi. Setiap usaha dalam perawatan kesehatan, termasuk penggunaan stimulasi listrik, harus dilakukan dengan penuh tanggung jawab dan kesadaran akan amanah tersebut. Dengan demikian, pengobatan dalam perspektif Islam adalah kombinasi antara ikhtiar manusia dan keyakinan penuh kepada Allah sebagai sumber kesembuhan. Penelitian tentang stimulasi listrik dan antibiotik sebagai metode pengobatan menunjukkan bahwa Islam mendorong umatnya untuk memanfaatkan teknologi medis dengan cara yang sesuai dengan ajaran syariat, sambil tetap mengandalkan Allah sebagai Penyembuh dan Pengatur segala sesuatu.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai efek stimulasi listrik dan antibiotik terhadap pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* dan perkembangan kondisi luka mencit (*Mus musculus*) diabetes melitus, dapat disimpulkan bahwa:

1. Variasi tegangan pada stimulasi listrik secara signifikan mempengaruhi pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus*. Semakin besar tegangan yang diterapkan, semakin besar pula penurunan jumlah koloni bakteri. Tegangan 80 volt terbukti sebagai tegangan yang paling efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri.
2. Durasi waktu stimulasi juga menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan jumlah bakteri. Semakin lama durasi stimulasi semakin sedikit jumlah koloni bakteri, dengan durasi 15 menit menjadi waktu optimal dalam mengurangi jumlah bakteri *Staphylococcus aureus*.
3. Kombinasi stimulasi listrik dan antibiotik alami efektif mempercepat penyembuhan luka. Tegangan 80 volt dengan durasi 15 menit terbukti optimal dalam merangsang penyembuhan luka dan menurunkan kadar glukosa darah.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, beberapa saran dapat diajukan untuk penelitian selanjutnya, antara lain:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengevaluasi efektivitas kombinasi stimulasi listrik dengan berbagai jenis antibiotik sintetis untuk

menentukan kombinasi yang paling efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri *Staphylococcus aureus* dan mempercepat penyembuhan luka pada mencit diabetes melitus.

2. Disarankan untuk menambahkan kelompok perlakuan dalam penelitian, seperti kelompok yang hanya menerima stimulasi listrik, hanya antibiotik, dan kombinasi keduanya untuk mengetahui metode yang paling efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri dan mempercepat penyembuhan luka.
3. Pada saat melakukan pengamatan, disarankan untuk selalu memastikan sterilisasi terhadap alat-alat yang digunakan, serta menerapkan prosedur aseptik yang ketat untuk mencegah kontaminasi dan memastikan keakuratan hasil penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Afandi, A. M., Rijal, I., & Aziz, T. (2017). *Pengaruh Waktu dan Tegangan Listrik Terhadap Limbah Cair Rumah Tangga dengan Metode Elektrolisis*. Jurnal Teknik Kimia, 23(2), 114–119.
- Amin, Lukman Zulkifli. (2014). *Pemilihan Antibiotik yang Rasional*. Medicinus : 40-45, Vol.27. No.3.
- Andhiarto, Y., Andayani, R., & Ilmiyah, N. (2019). *Uji Aktivitas Antibakteri Ekstrak Etanol 96% Daun Mimba (Azadirachta indica A. Juss) dengan Metode Ekstraksi Perkolasi terhadap Pertumbuhan Bakteri Staphylococcus aureus*. Journal of Pharmacy Science and Technology, 2 (1), pp. 102-111. <https://farmasi-journal.hangtuah.ac.id/indec.php/journal/article/view/24>
- Anggriawan. (2014). *Identifikasi Bakteri Batang Gram Negatif Dari Ulkus Diabetikum Derajat I dan II Waigner Di Bangsal Penyakit Dalam RSUD Arifin Achmad Provinsi Riau*. Fakultas Universitas Kedokteran Riau , 188.
- Apriliawan, Handi. (2012). *Laban Electric Alat Pasteurisasi Susu Kejut Listrik Tegangan Tinggi (Pulsa Electric Fields) Menggunakan Flyback Transformers Prosiding*. Seminar Nasional Mekanisme Pertanian (halaman 361-378). Bogor. BB Mekanisasi Pertanian.
- Asadi M.R, dan Torkaman G. (2014). *Bacterial Inhibition by Electrical Stimulation*. Advances In Wound Care. Volume 3.
- Atina. (2015). *Tegangan Dan Kuat Arus Listrik Dari Sifat Asam*. 12(2), 28–42.
- Balakatounis, K. (2011). *Electrical Stimulation For Wound Healing*. Advanced
- Belivani, M., Lundeberg, T., Cummings, M., Dimitroula, C., Belivani, N., Vasilakos, D., & Hatzitolios, A. (2015). Immediate effect of three different electroacupunter protocols on fasting blood glucose in obese patient: A pilot study. Acupuncture in Medicine, 33(2), 110-114. <https://doi.org/10.1136/acupmed-2014-010662>
- Blount, Al ; Foster, S., Rapp, D. A., Wilcox, R. (2012). *The use of bioelectric dressings in skin graft harvest sites: A prospective case series*. J. Burn Care Res. 33, 354-357
- 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>
- Cho, N.H., Shaw, J. E., Karuranga, S., Huang, Y., daa Rocha Fernandes, J. D., Ohlrogge, A. W., & Malanda,B. (2018) *IDF Diabetes Atlas: Global*

estimates of diabetes prevalence for 2017 and projections for 2045.
Diabetes Research and Clinical Practice

- Diehr, P. E (2014). *Ohm's Law and the Variation of Resistance with Temperature and Voltage Physical Origins of Electrical Conductivity and Resistivity Some Definitions Electric Field and Voltage Charged Particles in an Electric Field Statistical Mechanics: Mean Free Path.*
- Dinas Kominfo, (2021). "Prevalensi Diabetes di Jawa Timur". Dinas kominfo Provinsi Jawa Timur.
- Dinkes. (2022). "Profil Kesehatan Kota Malang Tahun 2022". Dinas Kesehatan Kota Malang.
- Drie, Y. V. L., Kurniawan, E., & ... (2022). *Otomatisasi Elektrolisis Dengan Integrasi Aplikasi Web Untuk Pemantauan Dan Kontrol. EProceedings ...*, 9(4), 1780–1785.
<https://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/18222%0Ahttps://openlibrarypublications.telkomuniversity.ac.id/index.php/engineering/article/view/18222/17802>.
- Ekawati ER, Yusmiati SNH, Herawati D. (2018). *Identifikasi kuman pada pus dari luka infeksi kulit.* J SainHealth ;2(1):31-5
- Fainsod-Levi, T., Gershkovitz, M., Vols, S., Kumar, S., Khawaled, S., Sagiv, J. Y., Granot, Z. (2017). *Hyperglykemia Impairs Neutrophile Mobilization Leading to Enchanced Metastatic Seeding.* Cell Reports, 21 (9).
- Fatimah, N., Kusumawati, E. (2018). *Efektivitas Ekstrak Daun Mimba (Azadirachta indica) Sebagai Antibakteri Terhadap Staphylococcus aureus.* Jurnal Ilmiah Ilmu Sains dan Farmasi, 4(1), 58-65.
- Giancoli, Douglas C., 2001, Fisika Jilid I (terjemahan), Jakarta : Penerbit Erlangga
- Gilbert D. N., Moellering R. C., (2010), Jr, Eliopoulos G.M., & Chambers, H. F., Saag M. S., editors., eds. *The Sanford Guide to Antimicrobial Therapy 2010.* 40th ed. Sperryville, VA: Antimicrobial Therapy, Inc.
- Gillespie, S. & Bamford, K. (2009). *Mikrobiologi Medis dan Infeksi*, edisi 3. Jakarta: Erlangga
- Guyton, & Hall. (2014). *Buku Ajar Fisiologi Kedokteran* (12th ed.). EGC.
- Harun Yahya, *The Miracle of Electricity in the Qur'an* (Al-Attique Publishers, 2007), pp. 34-36.
- Herlina N, Fifi Fifi A, Aditia DC, Poppy DH, Qurotunnada dan Baharuddin T. (2015). *Isolasi dan identifikasi Staphylococcus aureus dari susu mastitis subklinis di Tasikmalaya, Jawa Barat.* Pros Sem Nas Masy Biodiv Indon.1(3): 413-417.

- International Diabetes Federation. (2019). *IDF Diabetes Atlas Ninth Edition 2019*.
- Jabbour, G., Belliveau, L., Probizanski, D., Newhouse, I., McAuliffe, J., Jakobi, J., & Johnson, M. (2015). *Effect of low frequency neuromuscular electrical stimulation on glucose profile of persons with type 2 diabetes: A pilot study*. *Diabetes and Metabolism Journal*, 39(3), 264–267. <https://doi.org/10.4093/dmj.2015.39.3.264>.
- Kannan, Premavathy, K. R. & Sambandam, C., (2014). *Isolation and antibiotic susceptibility of bacteria from foot infections*. *Int J Res Med Sci*, 2(2), pp.457 461.
- Karimela, E. J., Ijong, F. G., & Dien, H. A. (2017). *Characteritics of Staphylococcus aureus Isolated Smoked Fish Pinekuhe from Traditionally Processed from Sangihe District*. *Jurnal Pengolahan Hasil Perikanan Indonesia*, 20(1), 188. <https://doi.org/10.17844/jphpi.v20il.16506>
- Kartika, Ronald Winardi. (2018). *Terapi Ulkus Kaki Diabetes dengan NPWT*. Jakarta, Indonesia. <https://media.neliti.com/media/publications/397808-terapi-ulkus-kaki-diabetes-dengan-npwt-n-0ca75f5a.pdf>.
- Khoirunnisa, Ripa, Ratu Choesrina, and Suwendar. (2019). *Studi Pustaka Aktivitas Antibakteri Ekstrak Buah dan Daun Tin (Ficus Carica)*. *Prosiding Farmasi*, 620-628.
- Komariah, K., & Rahayu, S. (2020). *Hubungan usia, jenis kelamin dan indeks massa tubuh dengan kadar gula darah puasa pada pasien diabetes melitus tipe2 di klinik pratama rawat jalan proklamasi, Depok, Jawa Barat*. *Jurnal Kesehatan Kusuma Husada*, 41-50
- Kurdi, F. et al. (2020). *Stress Pasien Dengan Ulkus Kaki Diabetikum di AL Hijrah Wound Care Center Jombang*. *Jurnal Ilmiah Keperawatan (Scientific Journal of Nursing)*, 6(1), 128-136. doi: 10.33023/jikep.v6il.577
- Kurniawan, Fajar, Bakti, Indra, Taufik, Sahli., (2016). *Bakteriologi*. Jakarta: Egcc
- Lede, M. J., Hariyanto, T., & Ardiyani, V. M. (2018). *Pengaruh kadar gula darah terhadap penyembuhan luka diabetes mellitus di Puskesmas Dinoyo Malang*. *Nursing News*, 3(1), 53
- Lipsky, B. A. et al., (2012). *Infectious Diseases Society of America Clinical Practice Guideline*. *IDSA Guidelines*, pp. 132-147
- Mangold, S., Keller, T., Curt, A., & Dietz, V. (2005). *Transcutaneous functional electrical stimulation for grasping in subjects with cervical spinal cord injury*. *Spinal Cord*, 43(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/sj.sc.3101644>
- Mardiyantoro, Fredy. Munika, Khusnul dan Sutanti, Viranda. (2018). *Penyembuhan Luka Rongga Mulut*. Malang: UB Press.

- Mashita, A. R. (2017). *Efek Antimikroba Ekstrak Rimpang Temulawak (Curcuma xanthorrhiza) Terhadap Pertumbuhan Staphylococcus aureus*, Saintika Medika, 10(2), p. 138. doiL 10.22219/sm. V10i2.4184.
- McCallum, R. & Tagoe, M., (2012). *Transmetatarsal Amputation: A Case Series and Review of the Literature*. Journal of Aging Research, pp. 1-6
- Mikrajuddin Abdullah. (2018). *Fisika Dasar II*. In Angewandte Chemie International Edition, 6(11), 951–952. (Vol. 3, Issue 1). <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>
- Murray, P. R., Rosenthal, K. S., & Pfaller, M.A. (2021). *Pseudomonas and Related Bacteria*. In: Murray: Medical Microbiology. 8th ed. Philadelphia: Elsevier, 2016. p. 272-9
- Murray, P. R., Rosenthal, K. S., Pfaller, M. A. (2016). *Medical Microbiology*, 8th Edition. Philadelphia: Elsevier
- Mustamu, H. L., Evacuasiyany, E., & Liana, L. K. (2016). *The Ethanol Extract of Neem Leaf (Azadirachta Indica A. Juss) Effect towards Wound Healing in Male Swiss Webster Mice*. Journal of Medicine and Health, 1(3), 241)
- Napanggala; Susianti dan Apriliana. 2014. *Pengaruh Pemberian Getah Tanaman Jarak Pagar (Jatropha curca L) secara Topikal Terhadap Tingkat Kesembuhan Luka Iris pada Tikus Putih Jantan Galur Sprague Dawley*. ISSN 2337-3776.
- Nugrahaeni, A. D., & Widianawati, E. (2022). *Persebaran Kasus Diabetes Melitus Pasien Rumah Sakit Telogorejo Berbasis Wilayah Kota Semarang Tahun 2020*. Jurnal Bina Cipta Husada, XVIII(2), 89–98.
- Padilah, N., Harahap, M. I., & Utami, T. W. (2024). Makna Syifa' dalam Perspektif Al-Qur'an Surah Yunus Ayat 57. *Al Qalam: Jurnal Ilmiah Keagamaan dan Kemasyarakatan*, 18(3). <https://jurnal.stiq-amuntai.ac.id/index.php/alqalam> DOI: 10.35931/aq.v18i3.3500
- Paniker, Ananthanarayan. (2010). *Textbook of Microbiology*. New Delhi. CKJ Paniker
- Pelczar, Michael J and Chan, E. (2012). *Dasar-dasar Mikrobiologi 2*. Jakarta: UI Press
- PERKENI. (2021). *Pedoman Pemantauan Kadar Glukosa Darah Mandiri*. PB PERKENI.
- Prasetyo, Bayu Febram; Ietje Wientarsih; Bambang Pontjo Priosoeryanto. 2010. *Aktivitas Sediaan Gel Ekstrak Batang Pohon Pisang Ambon Dalam Proses Penyembuhan Luka pada Mencit*. Jurnal Veteriner. ISSN: 141-8327. Vol. 11 No.2:70-73.

- Radji, M. (2010). *Buku Ajar Mikrobiologi Panduan Mahasiswa Farmasi dan Kedokteran*. Jakarta: Buku Kedokteran EGC.
- Rahmawati, D., Mayang, T., & Ambari, Y. (2024). *Characterization and stability test of facial spray preparation of neem leaf extract (Azadirachta indica A. Juss) as an anti-acne*. Journal Biologi Tropis, 24 (2): 570-578. DOI: <https://dx.doi.org/10.29303/jbt.v24i2.6825>.
- Rahmi Y, Darmawi, Mahdi A, Faisal J, Fakhrurrazi, dan Yudha F. (2015). *Identificaton of Staphylococcus aureus in preputium and vagina of horses (Equus caballus)*. Journal Medika Veterinaria. 9(2): 15-158
- Rajendran, S. B., Challen, K., Wright, K. L., & Hardy, J. G. (2021). *Electrical Stimulation to Enhance Wound Healing*. Journal of Functional Biomaterials, 12(2), 40. <https://doi.org/10.3390/jfb12020040>.
- Richard, J. L., Castro, P. and Saphiro, N.I., (2011). *Diabetes and sepsis : preclinical findings*. Diabetes Care, Volume 34, pp. 771-78
- Riyanto, & Agustiningasih, 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>
- Ruwandha, D., Fitriyani, D., & Iskandar, D. (2021). *Uji Aktivitas Tanin Daun Mimba (Azzadirachta indica) terhadap Bakteri Salmonella typhi*. Jurnal Kimia Riset, 6(1), 77. <https://doi.org/10.20473/jkr.v6i1.2484.8>.
- Sahara, M., Simanjuntak, M., Aulia, Y., Zai, Y., & Masdalena. (2019). *Uji Aktivitas Anti Diabetes Ekstrak Etanol Daun Senggani (Melastoma malabathrium L) Pada Mencit Jantan Yang Diinduksi Aloksan*. In SAINTEKS 2019. ISBN:978-602-52720-1-1. Halaman 174-176
- Sarkar, P., Acharyya, S., Banerjee, A., Patra, A., Thankamani, K., Koley, H., & Bag, P.K. (2016). *Intacellular, biofilm Inhibitory and Membrane Damaging Activites of Nimbolide Isolated From Azadirachta indica A. Juss (Meliaceae) against methicillin-resistant Staphylococcus aureus*. Journal of Medical Microbiology, 65(10), pp. 1205-1214. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27553840/>.
- Sarkar, S., Singh, R. P., & Bhattacharya, G. (2021). *Menjelajahi peran Azadirachta indica (nimba) dan senyawa aktifnya dalam regulasi jalur biologis: pembaruan pendekatan molekuler*. Bioteknologi, 11(4), 178. <https://doi.org/10.1007/s13205-021-02745-4>
- Sartika, D., Sari, T.M., & Hardiansyah, I. (2020). *Pola Kepekaan BakteriPenyebab Ulkus Diabetikum terhadap Antibiotika di RSUP Dr. M. Djamil Padang Periode 2018-2019*. JAFP (Jurnal Akademi Farmasi Prayoga), 5(2), 23-33.
- Sekarwati, W. A. (2020). *Hubungan Citra Tubuh Terhadap Kualitas Hidup Pada*

Pasien Diabetes Melitus dengan Ulkus Diabetik. Journal Syifa Science and Clinical Research, 2(2), 83-90. <https://doi.org/10.37311/jsscr.v2i2.4575>

- Septiarni, F. (2018). *Gambaran Jumlah Trombosit Pada Penderita Diabetes Melitus di Laboratorium Hermatologi Poltekkes Kemenkes RI Medan Jurusan Analis Kesehatan*.
- Sharma, D., Shenoy, S., & Singh, J. (2010). *Effect of electrical stimulation on blood glucose level and lipid profile of sedentary type 2 diabetic patients*. International Journal of Diabetes in Developing Countries, 30(4), 194-198. <https://doi.org/10.4103/0973-3930.70859>
- Siregar, S., Hafizah, A., Budi, H., & Prodi, W. (2023). *Kajian Pengaruh Waktu Elektrolisis Dan Arus Listrik Terhadap Pembentukan Endapan Massa Ag Pada Katoda Pada Aplikasi Pelapisan Logam Senjata*. NUSANTARA: Jurnal Ilmu Pengetahuan Sosial, 10(8), 4104–4108. <http://jurnal.um-tapsel.ac.id/index.php/nusantara/index>
- Siswanto, J., Endang, S., & Budi, J. (2018). *Fisika Dasar : Listrik Arus Searah dan Kemagnetan*. In Universitas PGRI Semarang (Vol. 3).
- Sukarni, Permana, H., & Isabela, C. (2022). *Clinical Practice the Influence of Electrical Muscle Stimulation for Diabetic Foot Ulcers*: 5(1), 16-21. <https://woundsasia.com/journal-articles/the-influence-of-electrical-muscle-stimulation-for-diabetic-foot-ulcers>.
- Sulistiowati, E., & Sihombing, M. (2018). *Perkembangan Diabetes Melitus Tipe 2 dari Prediabetes di Bogor, Jawa Barat*. Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pelayanan Kesehatan, 2(1), 59-69 Syamsiyah, N. (2017). *Berdamai dengan Diabetes*. Bumi Medika. Jakarta
- Sutanto, T. (2017). *Deteksi, Pencegahan, Pengobatan Diabetes*. Yogyakarta: Buku Pintar.
- Tarwoto.(2016). *Keperawatan Medikal Bedah Gangguan Sistem Endokrin*. Jakarta
- Tirono, M., Hananto, F. S., & Abtokhi, A. (2022). *Pulse Voltage Electrical Stimulation for Bacterial Inactivation and Wound Healing in Mice with Diabetes*. Avicenna Journal of Medical Biotechnology, 14(1), 95-101. <https://doi.org/10.18502/ajmb.v14i1.8175>
- Utami, M. P. S., Marselin, A. and Hartanto, F. A. D. (2019). *The Analysis of The Activities of Diabetes Mellitus Patients and The Event of Diabetic Ulcus* Indonesian Journal of Global Health Research, 2(3), 407-414. Doi:10.37287/ijghr.v2i4.250.
- Utari, E. L., Buyung, I., & Putra, I. M. G. G. (2017). *Simulasi Alat Elektrostimulator Akupuntur Berbasis Mikrokontroler Atmega16*. Teknoin, 23(1), 2942. <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol23.iss1.art4>

- Vromans, M. (2017). *Force and Fatigue Development Following Electrical Stimulation: The Effect of Frequency and Fiber Type*. Master's Theses, University of Connecticut, 1–58.
- Wael, m. U., dewi, s. S., & maharani, e. T. W. (2017). *Daya hambat infusa biji Pinang (areca catechu l.) Terhadap bakteri Staphylococcus aureus*. In prosiding seminar nasional & internasional
- Waspadji S. (2014). *Diabetes melitus: Mekanisme dasar dan pengelolaannya yang rasional*. Dalam Soegondo S. *Penatalaksanaan diabetes melitus terpadu*. Jakarta: Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia
- Widyasari, Nina (2017). *Hubungan Karakteristik Rsponden dengan Risiko Diabetes Melitus dan Dislipidemia Kelurahan Tanah Kalikedinding*. Jurnal Berkala Epidemiologi, Vol. 5 No.1, 130-141. Wound Repair Therapies. 3(2). Pp. 571-586
- Yusuf al-Qaradawi, *Islamic Jurisprudence and Modern Science* (Al-Falah Foundation, 2012), pp. 92-95.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Data Hasil Jumlah Koloni Bakteri *Staphylococcus aureus*

Tegangan (V)	Antibiotik (mL)	Waktu (menit)	Jumlah Koloni Bakteri (10 ³ CFU/mL)			Rata-rata (10 ³ CFU/mL)
			1	2	3	
Kontrol	0	5	167	180	178	175 ± 56,84
		10	185	190	186	187 ± 56,23
		15	188	189	195	190.66 ± 53, 72
50	0,1	5	170	155	160	161.66 ± 49,11
		10	169	180	170	173 ± 46,71
		15	135	140	150	141.66 ± 40,12
60		5	143	141	106	130 ± 36,26
		10	130	125	90	115 ± 31,94
		15	122	101	88	103.66 ± 27,73
70		5	90	85	80	85 ± 22,44
		10	83	69	70	74 ± 18,16
		15	50	75	43	56 ± 11,76
80		5	36	45	30	37 ± 4,92
		10	33	37	20	30 ± 2,5
		15	28	25	22	25 ± 0

Lampiran 2. Data Hasil Kadar Glukosa Darah Mencit

Data Kadar Glukosa Darah Sebelum dan Sesudah di Induksi Aloksan Monohydrate

No.	Kelompok 1			Kelompok 2		
	BB (gram)	Kadar Glukosa Darah (mg/dl)		BB (gram)	Kadar Glukosa Darah (mg/dl)	
		Sebelum	Sesudah		Sebelum	Sesudah
1	24	139	350	22	123	341
2	27	176	410	26	154	439
3	25	134	379	21	131	362
4	21	98	375	26	110	365
5	22	168	461	25	106	358

Data Kadar Glukosa Darah Sebelum dan Sesudah Perlakuan Stimulasi Listrik

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	24	350	365	22	341	335
2	27	410	390	26	439	423
3	25	379	370	21	362	357
4	21	375	387	26	365	350
5	22	461	440	25	358	349
Rata- Rata	23,8	395	390,4	24	373	362,8

Lampiran 3. Hasil Analisis Statistik

Uji Faktorial Bakteri *Staphylococcus aureus*

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: data					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Model	713055.333 ^a	15	47537.022	367.491	.000
tegangan	140970.978	4	35242.744	272.449	.000
waktu	1814.711	2	907.356	7.014	.003
tegangan * waktu	2649.289	8	331.161	2.560	.029
Error	3880.667	30	129.356		
Total	716936.000	45			

a. R Squared = .995 (Adjusted R Squared = .992)

Uji DMRT Tegangan

data						
Duncan ^{a,b}						
tegangan	N	Subset				
		1	2	3	4	5
5	9	30.67				
4	9		71.67			
3	9			116.22		
2	9				158.78	
1	9					184.22
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) = 129.356.

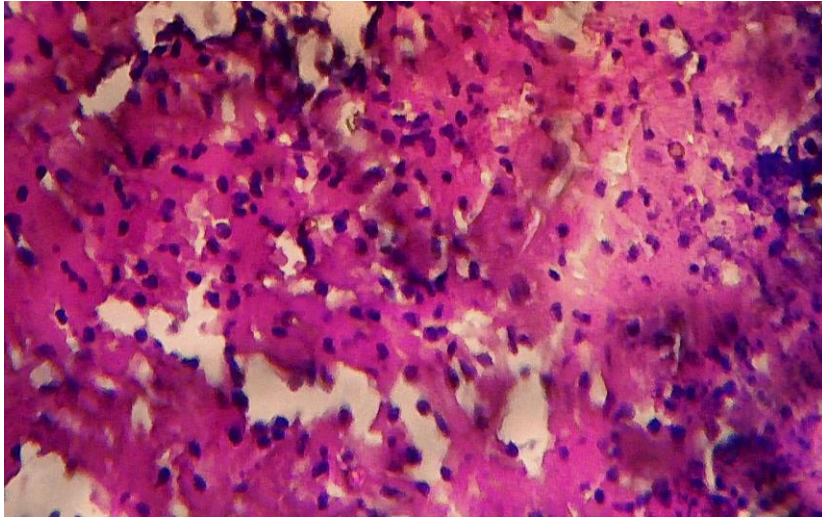
a. Uses Harmonic Mean Sample Size = 9.000.
b. Alpha = 0.05.

Uji DMRT Waktu

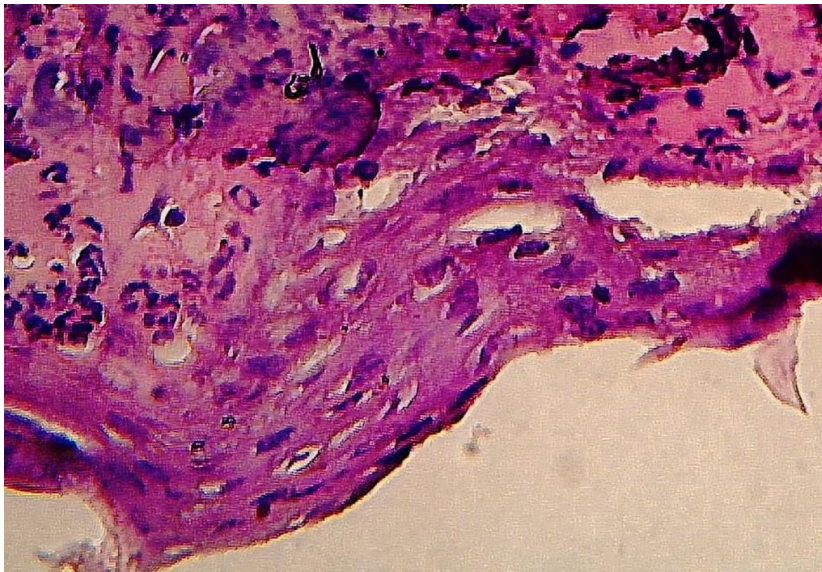
data			
Duncan ^{a,b}			
waktu	N	Subset	
		1	2
3	15	103.40	
2	15		115.80
1	15		117.73
Sig.		1.000	.645

Lampiran 4. Hasil Preparat Histopatologi

Histopatologi Jaringan Luka pada Kelompok Kontrol



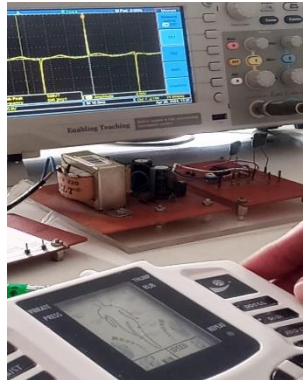
Histopatologi Jaringan Luka pada Kelompok Perlakuan



Lampiran 5. Dokumentasi Penelitian



Alat Elektrostimulator
untuk Aplikasi Stimulasi
Listrik



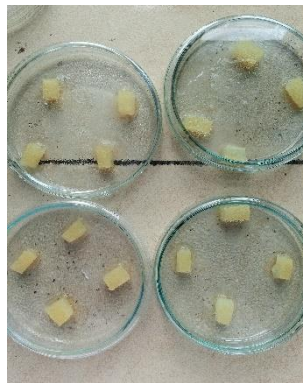
Kalibrasi untuk
Menentukan Tegangan
pada Alat



Proses Sterilisasi Alat



Bakteri *Staphylococcus
aureus*



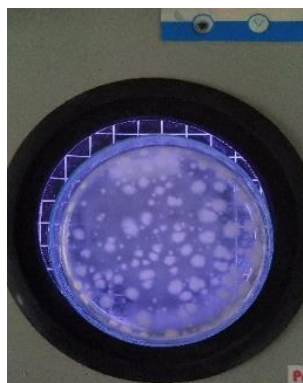
Sampel Kulit Sapi
setelah di Sterilisasi
Kulit Sapi



Proses Stimulasi Listrik
dan Antibiotik pada Kulit
Sapi



Persiapan Pengenceran



Perhitungan Jumlah
Koloni Bakteri



Kandang Mencit
(*Mus musculus*)



Penimbangan Berat
Badan Mencit



Proses Induksi Aloksan
Monohydrate



Pengukuran Kadar Gula
Darah



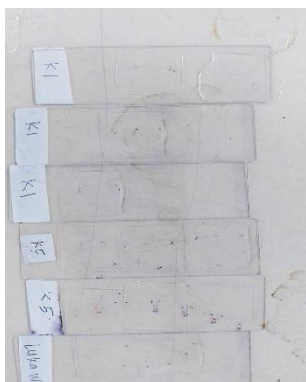
Pemberian Luka Sayat
pada Punggung Mencit



Proses Stimulasi Listrik
dan Antibiotik pada
Luka Sayat Mencit



Pengambilan Sampel
Luka pada Mencit setelah
Euthanasia



Sampel Preparat
Histopatologi Luka
Sayat Mencit



Pengamatan Preparat
Histopatologi



Antibiotik Biokatan

Lampiran 4. 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. 01/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 *Staphylococcus aureus* pada Luka
Mencit (*Mus musculus*) Diabetes Melitus

Peneliti : Roimatul Farida

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

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



JURNAL BIMBINGAN SKRIPSI/TESIS/DISERTASI

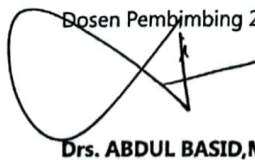
IDENTITAS MAHASISWA

NIM : 200604110012
Nama : ROIMATUL FARIDA
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
Jurusan : FISIKA
Dosen Pembimbing 1 : Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO,M.Si
Dosen Pembimbing 2 : Drs. ABDUL BASID,M.Si
Judul Skripsi/Tesis/Disertasi : EFEK STIMULASI LISTRIK DAN ANTIBIOTIK TERHADAP PERTUMBUHAN BAKTERI Staphylococcus aureus PADA LUKA MENCIT (Mus musculus) DIABETES MELITUS

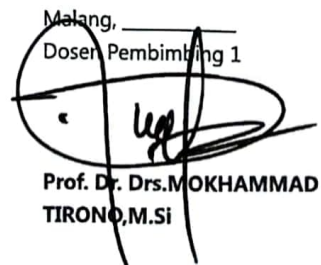
IDENTITAS BIMBINGAN

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	Konsultasi penelitian dan revisi proposal	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	Drs. ABDUL BASID,M.Si	Konsultasi integrasi	Genap 2023/2024	Sudah Dikoreksi
8	14 Agustus 2024	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO,M.Si	Konsultasi BAB IV	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
9	27 Agustus 2024	Drs. ABDUL BASID,M.Si	Konsultasi Integrasi	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi
10	29 Agustus 2024	Prof. Dr. Drs.MOKHAMMAD TIRONO,M.Si	Konsultasi BAB IV & V	Ganjil 2024/2025	Sudah Dikoreksi

Telah disetujui
Untuk mengajukan ujian Skripsi/Tesis/Desertasi

Dosen Pembimbing 2

Drs. ABDUL BASID,M.Si


Kajun / Kaprodi,


Malang,
Dosen Pembimbing 1

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