

**Terapi Luka Diabetes Melitus  
Menggunakan Stimulasi Kejut  
Listrik untuk Mempercepat  
Penyembuhan**

*Mokhamad Tirono  
Farid Samsu Hananto*

**Malang, 2019**

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	2
I. PENDAHULUAN.....	3
A. Latar Belakang Masalah.....	4
B. Permasalahan .....	5
C. Tujuan Penelitian.....	6
D. Penelitian Terdahulu .....	7
II. LANDASAN TEORI.....	8
A. Kajian Teori .....	8
B. Kontektualisasi dalam Penelitian.....	14
III. HASIL PENELITIAN .....	16
A. Efek Arus Listrik Terhadap Koloni Bakteri .....	16
B. Efek Tegangan Listrik terhadap Koloni Bakteri. ....	17
C. Efek Frekwensi Pulsa Listrik terhadap Koloni Bakteri .....	19
D. Efek Lama Treatment terhadap Koloni Bakteri .	21
E. Efek Tegangan Listrik Terhadap Koloni Bakteri	40
F. Efek Medan Listrik terhadap Luka .....	52
IV. DISKUSI DATA TEMUAN PENELITIAN.....	60
A. Diskusi Data .....	62
B. Temuan Penelitian .....	62
V. KESIMPULAN DAN SARAN .....	63
DAFTAR PUSTAKA.....	65

# **TERAPI LUKA DIABETES MELLITUS MENGGUNAKAN STIMULASI KEJUT LISTRIK UNTUK MEMPERCEPAT PENYEMBUHAN**

Mokhammad Tirono, Farid Samsu Hananto

## **ABSTRAK**

Penderita diabetes militus sangat retan terhadap kondisi luka. Pengobatan luka, pada penderita diabetes mellitus, sangat sulit untuk mencapai kesembuhan. Sulitnya mengobati luka sampai sembuh membuat beberapa penderita harus dilakukan tindakan amputasi. Praktek medis konvensional untuk mengobati luka pada penderita diabetes sampai saat ini belum dapat memperoleh penyembuhan yang diharapkan. Oleh karena itu perlu ada upaya lain agar dapat diperoleh tingkat pnyembuhan yang signifikan. Salah satu metode yang sedang diteliti adalah terapi stimulasi arus listrik. Stimulasi arus listrik dapat menimbulkan efek termal dan menyebabkan terjadinya elektrololisis yang akibatnya dapat merusak membran sel. Penelitian ini akan menentukan arus, tegangan, dan durasi pulsa minimum yang dapat menurunkan jumlah bakteri serta aplikasinya pada luka dari merncit penderita diabetes. Sampel penelitian adalah bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa* serta mencit menderit diabetes. Treatment dilakukan dengan arus 20-60 mA, tegangan 5-10 volt, frekwensi 50-150 kHz, serta tegangan pulsa 50-80 volt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa arus dan tegangan minimal yang dibutuhkan adalah 50 mA dan 5 volt. Treatment dengan arus listrik berbentuk pulsa menyebabkan pengurangan jumlah koloni bakteri yang lebih besar, dimana demgan tegangan 10 volt dan frekwensi 150 kHz selama 30 menit koloni bakteri *Pseudomonas aeruginosa* turun dari  $148,33 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $28,67 \times 10^3$  CFU/ml. Treatment secara rutin tiap hari selama 15 menit dengan tegangan 10 volt dan tegangan pulsa 80 volt membuat sampel menjadi kering dan terbebas dari bakteri. Treatmen pada luka mencit yang mederita diabetes menggunakan tegangan 10 volt, tegangan pulsa 80 volt, dan lama treatment 15 menit setiap hari membuat luka menutup pada hari ke tujuh.

Key word : listrik, tegangan, pulsa, pengurangan

# I. PENDAHULUAN

## A. Latar Belakang Masalah

Penyakit tidak menular seperti Diabetes menjadi ancaman serius bagi kesehatan global. Secara global, pada tahun 2014 diperkirakan ada sekitar 422 juta orang dewasa hidup dengan menderita diabetes (Ifodatin, 2018). Sementara itu Estimasi jumlah penderita penyakit diabetes militus di Indonesia tahun 2000 adalah 8,4 juta dan pada tahun 2030 adalah 21,3 juta (Ifodatin, 2018).

Penderita diabetes militus sangat rentan terhadap kondisi luka. Pengobatan luka, pada penderita diabetes mellitus, sangat sulit untuk mencapai kesembuhan (Petrofsky, J.S.*et.al*, 2005). Sulitnya mengobati luka sampai sembuh membuat beberapa penderita harus dilakukan tindakan amputasi (Kennedy, E.J. 2000; Senet, P., dan Meaume, S. 2000; De Astis, V., 2000). Luka pada penderita diabetes bisa bertahan sampai berbulan-bulan dan bahkan bertahun-tahun atau tidak pernah sembuh sama sekali (Meehan, M., 2000). Salah satu penyebab sulitnya pengobatan luka pada penderita diabetes adalah tumbuhnya bakteri aerobic and anaerobic seperti bakteri *Propionibacterium granulosum*, *Pseudomonas aeruginosa*, dan *Staphylococcus aureus*(Alsaimary, I.E.A., 2010)

Praktek medis konvensional untuk mengobati luka pada penderita diabetes sampai saat ini belum dapat memperoleh penyembuhan yang diharapkan (Meehan, M., 2000). Bahkan terapi yang lebih baru seperti *myocutaneous flaps*, *water debridement*, dan teknik lain yang ada belum memperoleh tingkat penyembuhan yang

signifikan dalam lima puluh tahun terakhir (Meehan, M., 2000). Oleh karena itu perlu ada upaya lain agar dapat diperoleh tingkat penyembuhan yang signifikan.

Salah satu metode yang sedang diteliti adalah stimulasi arus listrik. Stimulasi arus listrik dapat menimbulkan efek termal pada bahan dengan hambatan tidak nol sebagaimana yang diungkapkan oleh hukum Joule. Selain itu aliran muatan yang melewati membran sel bakteri akan menyebabkan terjadinya elektrolisis yang akibatnya dapat merusak membran sel (Gusmão, I.C.C.P., *et.al*, 2010). Rusaknya membran sel, khususnya pada bakteri akan menurunkan jumlah bakteri pada luka. Rendahnya jumlah bakteri yang akan pada luka akan dapat mempercepat terjadinya penyembuhan pada penderita diabetes militus.

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Asadi M. R. dan Torkaman G. Beliau menstimulasi menggunakan arus listrik DC dengan kuat arus  $0,4 - 400 \mu\text{A}$  selama 48 jam. Sampel penelitian yang digunakan adalah kultur sel. Hasil yang dilaporkan adalah Stimulasi arus listrik (SAL) dapat menghambat pertumbuhan mikroorganisme, dimana penggunaan SAL lebih efektif dari pada selain menggunakan SAL (Asadi M. R. dan Torkaman G. 2014). Penelitian yang lain telah dilakukan oleh Thakral G. *et.al* , 2013. Sampel penelitian yang digunakan adalah luka pada penderita diabetes. Pemberian stimulasi arus listrik dilakukan selama 25 menit – 8 jjam dalam sehari dan dalam satu minggu dilakukan selama 5 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian SAL selama 35 hari dapat mereduksi luka sampai dengan 48%, SAL muda dan aman untuk digunakan, mengurangi infeksi, dan meningkatkan perfusi local. Penelitian yang lain dilakukan

oleh Ud-Din Sdan Bayat A.,2014. Beliau melaporkan bahwa bahwa Stimulasi arus listrik efektif untuk mengurangi lebar luka dan mempercepat penyembuhan luka.

Penelitian yang dilakukan oleh Asadi M. R. dan Torkaman G belum melaporkan penurunan jumlah bakteri yang terjadi. Penelitian yang dilakukan oleh Thakral dkk telah dilakukan pada sampel luka pada manusia, akan tetapi belum melaporkan besar arus listrik, dan penurunan jumlah bakteri yang terjadi. Ud-Din Sdan Bayat A.,2014 melaporkan hasil penelitian dengan menggunakan tegangan yang tinggi. Oleh karena itu perlu dikembangkan untuk menghasilkan informasi yang lebih akurat khususnya kuat arus yang masih memungkinkan dapat digunakan untuk pengobatan luka penderita diabetes.

## **B. Permasalahan**

### **1. Identifikasi Permasalahan**

1. Jumlah penderita diabetes yang setiap tahun jumlahnya semakin meningkat,
2. Luka yang terjadi pada penderita diabetes cenderung sulit untuk memperoleh kesembuhan
3. Belum adanya teknik pengobatan luka penderita diabetes yang dapat memperoleh penyembuhan optimal.

### **2. Batasan permasalahan**

1. Penelitian ini hanya meneliti dampak arus listrik terhadap penurunan jumlah bakteri baik dari intensitas arus, tegangan, maupun jumlahnya,

2. Penelitian ini diujikan sebatas pada mencit yang menderita diabetes dengan kadar gula darah 264 mg/dl.

### **3. Rumusan Permasalahan**

1. Berapakah kuat arus listrik searah minimal yang masih dapat digunakan untuk menurunkan jumlah koloni bakteri *Pseudomonas aeruginosa*?
2. Berapakah tegangan listrik minimal yang masih dapat digunakan untuk menurunkan jumlah koloni bakteri *Pseudomonas aeruginosa*?
3. Berapakah frekwensi pulsa minimal dari stimulator arus listrik yang masih dapat digunakan untuk menurunkan jumlah koloni bakteri *Pseudomonas aeruginosa*?
4. Berapakah tegangan pulsa dan durasi treatment tiap hari agar semua bakteri *Staphylococcus aureus* dan *Pseudomonas aeruginosa* tidak ada ?
5. Bagaimana pengaruh treatment dengan stimulasi arus listrik terhadap luka penderita diabetes ?

### **C. Tujuan Penelitian**

1. Menentukan batas minimum arus dan tegangan dan durasi pulsa yang masih dapat digunakan untuk pengobatan agar diperoleh penurunan jumlah bakteri yang optimum dan tidak menyakitkan penderita ?
2. Menentukan waktu paparan minimum yang masih diijinkan agar tidak menimbulkan rasa sakit pada penderita.

3. Menentukan tingkat efektivitas pengobatan luka penderita diabetes menggunakan stimulasi arus listrik.

#### **D. Signifikansi**

Penelitian ini telah dilakukan pada bakteri dan pada mencit yang menderita diabetes. Hasil penilihan munjukan bahwa stimulasi arus listrik signifikan dapat menurunkan jumlah bakteri serta mampu mengobati pula pada mencit penderita diabetis dengan kadar gula 264 mg/dl dalam waktu 7 hari.

#### **E. Penelitian Terdahulu**

**Daeschlein, G.MD., at al, 2007** : Menggunakan stimulasi arus listrik pulsa gelombang persegi dengan intensitas arus 42 mA dan dilaporkan bahwa stimulasi arus listrik memiliki efek antibakteri langsung pada bakteri Gram-positif dan Gram-negatif, namun efeknya jauh lebih rendah dibandingkan dengan pemberian antiseptik pada luka.

**Thakral G. et.al , 2013** melaporkan bahwa terapi aman dan mudah digunakan, mengurangi infeksi bakteri, meningkatkan perfusi lokal, dan mempercepat penyembuhan luka.

**Ud-Din S. dan Bayat A.,2014** melaporkan bahwa stimulasi arus listrik muda dan aman untuk digunakan, mengurangi infeksi, dan meningkatkan perfusi local. Penelitian yang lain dilakukan

**Hunckler J., dan de Mel, A., 2017** melaporkan bahwa stimulasi arus listrik dapat digunakan untuk pengobatan luka kronis dan berdampak besar pada perawatan kesehatan global dan ekonomi.



## II. LANDASAN TEORI

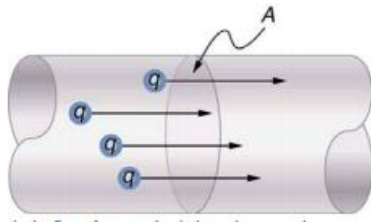
### A. Kajian Teori

#### A.1 Arus Listrik

Arus listrik didefinisikan sebagai laju aliran muatan. Arus besar, memindahkan muatan dalam jumlah besar dalam waktu kecil, sedangkan arus kecil, memindahkan sejumlah kecil muatan ke jangka waktu yang lama. Arus listrik  $I$  didefinisikan sebagai

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$$

Dimana  $\Delta Q$  adalah jumlah muatan yang melewati luasan tertentu seperti Gambar 2.1 dalam waktu  $\Delta t$ .



Gambar 2.1 Gambaran aliran muatan yang melewati luasan A

Arus listrik mengalir dari tegangan positif menuju tegangan negatif atau ground. Tidak adanya medan eksternal, elektron bergerak secara acak dalam konduktor. Jika ada medan di dekat konduktor, kekuatannya akan memaksa elektron bergerak, sehingga terjadi aliran arus listrik.

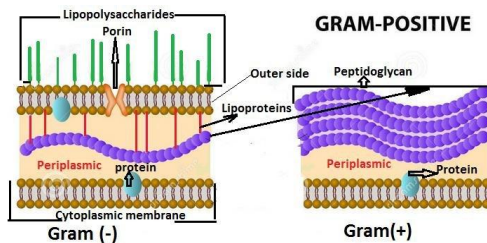
#### A.2 Struktur Sel Bakteri

Sebagian besar sel bakteri memiliki lapisan pembungkus sel, berupa membran plasma, dinding sel yang mengandung protein dan

polisakarida. Sejumlah bakteri dapat membentuk kapsul dan lendir, juga flagela dan pili. Dinding selnya merupakan struktur yang kaku berfungsi membungkus dan melindungi protoplasma dari kerusakan akibat faktor fisik dan menjadi pengaruh lingkungan luar seperti kondisi tekanan osmotik yang rendah.

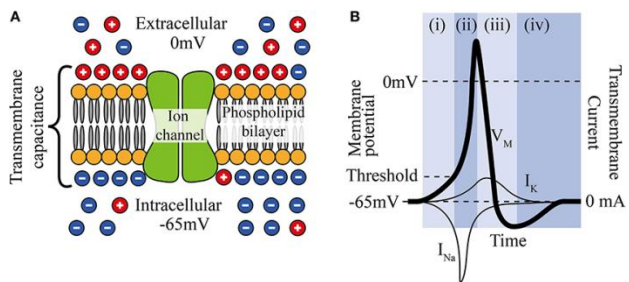
Protoplasma terdiri dari membrane sitoplasma beserta komponen-komponen seluler yang ada di dalamnya. Beberapa jenis bakteri dapat membentuk endospore sebagai pertahanan dikala lingkungan tidak sesuai untuk pertumbuhannya. Struktur dinding sel dapat menentukan perbedaan tipe sel bakteri, seperti bakteri Gram-positif dan Gram-negatif.

Bakteri Gram-negatif memiliki dinding sel terdiri lapisan membran luar dan membran dalam, diantaranya terdapat lapisan peptidoglikan setebal 2-7 nm, tebal membran luar 7-8 nm tersusun dari polisakarida, lipid, dan protein, Bakteri Gram-positif memiliki dinding sel homogen dan tebal (20-80 nm) serta sebagian besar tersusun dari peptidoglikan. Polisakarida lain dan asam teikoat dapat ikut menyusun dinding sel, sebagaimana terlihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2. Bentuk lapisan dinding sel bakteri Gram-negatif dan Gram-positif

Tegangan membran istirahat ditentukan oleh distribusi ion yang tidak merata (partikel bermuatan) antara bagian dalam dan bagian luar sel, dan oleh permeabilitas membran yang berbeda untuk berbagai jenis ion. Karena ion bermuatan, ion tidak dapat melewati daerah lipid hidrofob pada membran. Sebaliknya, mereka harus menggunakan protein saluran khusus yang menyediakan terowongan hidrofilik melintasi membran seperti terlihat pada Gambar 2.3. Perbedaan tegangan listrik melintasi membran sel yang secara tepat menyeimbangkan gradien konsentrasi untuk ion dikenal sebagai potensial kesetimbangan. Karena sistem berada dalam kesetimbangan (Gambar 2.3), potensial membran akan cenderung tetap pada potensial kesetimbangan. Untuk sel di mana hanya ada satu spesies ion permeant (hanya satu jenis ion yang dapat melintasi membran), potensial membran istirahat akan sama dengan potensial kesetimbangan untuk ion itu. Semakin curam gradien konsentrasi, semakin besar potensi listrik yang menyeimbangkannya



Gambar 2.3 Struktur muatan pada membrn sel (A) dan potensial membran sel (B)

## **A.3 Efek Arus Listrik terhadap Bakteri**

### **A.3.1 Efek Termal**

Kulit atau organ lain dalam tubuh manusia tersusun atas sel. Setiap sel memiliki resistansi, kapasitansi, dan konduktansi listrik. Akibat sifat resistif dan kapasitif, maka apabila dialiri arus listrik terjadi perubahan energi listrik menjadi energi panas. Apabila dua titik pada bagian tubuh disambungkan pada sumber arus dengan beda potensial  $V$  dan arus yang mengalir sebesar  $i$ , maka energi listrik yang dialirkan dalam waktu  $t$  adalah

$$W = V \cdot i \cdot t \quad (1)$$

Bilamana hambatan pada bagian tubuh yang dialiri arus listrik besarnya  $R$ , maka  $V = i \cdot R$  atau energi listriknya menjadi

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

Persamaan 2 menunjukkan bahwa semakin besar arus yang mengalir, maka energi listrik yang dihasilkan juga bertambah besar.

Pada tubuh energi listrik akan menggetarkan atom-atom pada sel tubuh, sehingga terjadi tumbukan antara satu atom dengan atom lainnya. Akibat tumbukan antar atom, maka akan meningkatkan suhu sel tubuh yang dilalui arus. Besarnya energi panas  $Q$  yang dibangkitkan sebanding dengan energi listrik yang dialirkan yaitu (Diehr P.E., 2014)

$$Q = i^2 R t \quad (3)$$

Panas yang ditimbulkan oleh arus akan dihantarkan ke daerah sekelilingnya. Bilamana bakteri sedang berada pada daerah luka, maka akan terjadi perpindahan energi panas ke bakteri. Bilamana kapasitas panas sel bakteri adalah  $C$  dan masa bakteri adalah  $m$ , maka perubahan suhu yang terjadi adalah

$$\Delta T = \frac{Q}{m C} \quad (4)$$

Substitusi persamaan 3 ke persamaan 4 diperoleh

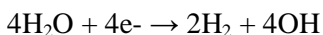
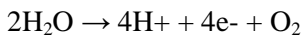
$$\Delta T = \frac{i^2 R t}{m C} \quad (5)$$

Apabila  $m$ ,  $C$ , dan  $R$  konstan, maka perubahan suhu yang terjadi ditentukan oleh perubahan arus  $i$  dan waktu  $t$ . Apabila suhu bakteri melebihi ambang batas pertumbuhannya, maka akan menyebabkan bakteri mati. Cepat lambatnya kematian bakteri tergantung pada kuat arus listrik yang dialirkan.

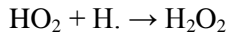
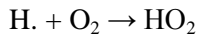
### A.3.2 Elektrolisis

Elektrolisis merupakan reaksi yang tidak spontan dan berlangsung pada suatu rangkaian elektrode dengan diberi sumber arus listrik. Elektrolisis merupakan proses penguraian suatu senyawa oleh arus listrik. Sel elektrolisis memerlukan energi untuk memompa elektron. Proses elektrolisis dimulai dengan masuknya elektron dari arus listrik kedalam larutan melalui kutub negatif. Spesi tertentu atau ion yang bermuatan positif akan menyerap elektron dan mengalami reaksi reduksi di katode. Spesi yang lain atau ion yang bermuatan negatif akan melepas elektron dan mengalami reaksi oksidasi di kutub positif atau anode (Riyanto dan Agustiniingsih W.A.,2018).

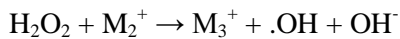
Akibat aliran muatan, maka terjadi pergeseran muatan pada membran sel bakteri. Pada proses elektrolisis akan terjadi reaksi (Riyanto dan Agustiniingsih W.A.,2018)



Pembentukan atom hidrogen (H) adalah salah satu langkah transisi dalam pembentukan molekul hidrogen dalam reaksi reduksi katodik dengan reaksi sebagai berikut



Dalam hal ini, elektroda logam (M) dapat menyebabkan hidrogen peroksida memainkan peran dalam menghasilkan hidroksil reaksi radikal:



Kadar hidrogen peroksida yang terbentuk dalam proses elektrolisis tidak terlalu banyak, tetapi berpotensi tinggi dapat merusak dinding sel bakteri. Hidrogen peroksida terbentuk dalam bakteri dan bereaksi dengan kelompok yang bermuatan negatif pada protein dan pada akhirnya menonaktifkan sistem enzim

## **B. Kontektualisasi dalam Penelitian**

### **B.1 Efek Stimulasi Arus Listrik DC terhadap Bakteri**

Ketika arus listrik diterapkan pada suspensi bakteri dengan elektroda terendam, maka elektrolisis pada elektroda dapat menghasilkan berbagai oksidan kimia, tergantung pada keberadaan oksigen dan ion yang berdampingan, seperti ion klorida (Dreesa, K. P. *et. al.*, 2003). Oksidan semacam itu bertanggung jawab atas sebagian besar dari inaktivasi dan mematikan dari penerapan arus searah. Mekanisme ini mungkin terjadi dengan bakteri dalam medium cair karena adanya ion yang berdampingan dalam larutan. Stres oksidatif dan arus listrik yang diterapkan dapat berkontribusi secara sinergis

terhadap perubahan yang signifikan dalam hidrofobisitas untuk bakteri yang tersuspensi dalam medium cair

Untuk spesies bakteri dalam air deionisasi, maka pertumbuhan bakteri dan efek pada hidrofobik dapat diminimalkan karena defisit karbon dan nutrisi nitrogen. Selain itu, ion yang berdaya hantar mampu membawa arus listrik dihilangkan dalam air terdeionisasi, dan dengan demikian spesies bakteri adalah satu-satunya pembawa arus listrik yang diterapkan selama periode pengujian. Oleh karena itu, setiap perubahan hidrofobisitas dapat secara wajar dikaitkan dengan arus listrik yang diterapkan

Arus listrik dapat mempengaruhi orientasi membran lipid dan akibatnya berpengaruh terhadap kelangsungan hidup sel. Arus listrik yang tinggi dapat menyebabkan permeabilisasi membran sel yang ireversibel dan bahkan dapat secara langsung mengoksidasi konstituen seluler (Dreesa, K. P. *et. al.*, 2003). Untuk kultur bakteri dalam air terionisasi, maka efek arus pada sel mungkin terjadi terutama dengan cara ini, sehingga hanya arus listrik yang lebih tinggi (40 mA) menyebabkan perubahan signifikan pada sifat permukaan dan bentuk sel. Kehadiran eksudat pada permukaan sel menunjukkan bahwa permeabilisasi zat seluler yang tidak dapat dikembalikan dapat terjadi, karena paparan arus yang lebih tinggi. Hasil uji bioelektrokinetik juga menunjukkan bahwa inaktivasi bakteri dapat terjadi melalui interaksi dengan permukaan elektroda, yang mengakibatkan degradasi dinding atau membran sel melalui oksidasi atau reduksi.

## **B.2 Hubungan Antara Perubahan Sifat Permukaan Sel Dan Gerakan Elektrokinetik**

Arus listrik DC yang lemah tidak menyebabkan perubahan signifikan pada sifat permukaan sel bakteri pendegradasi fenol. Namun, paparan DC lebih dari 20 mA dapat menyebabkan peningkatan hidrofobisitas permukaan, perataan sel, dan adanya eksudat pada permukaan sel. Perubahan tersebut dapat merangsang perlekatan bakteri pendegradasi fenol ke permukaan padat dan dengan demikian mengurangi tingkat transportasi. Sebuah studi bioelectrokinetic lumpur tanah mendukung kesimpulan ini karena menunjukkan bahwa bakteri cenderung membentuk biofilm pada permukaan padat ketika mereka terkena arus listrik 20 mA dengan jarak 2 cm. Pembentukan biofilm dapat melindungi sel-sel dari efek arus yang melewati dinding dan membran mereka dan pada saat yang sama menghambat pergerakan bakteri.

Literatur penelitian memberikan bukti bahwa stimulasi arus listrik memberi efek yang berguna dalam penghambatan pertumbuhan bakteri. Jenis polaritas stimulasi arus listrik, dan intensitas arus memainkan peran utama dalam pembentukan efek antibakteri. Baik arus searah (DC) dan arus pulsa tegangan tinggi lebih efektif dalam menghambat pertumbuhan bakteri daripada jenis stimulasi arus listrik lainnya.



### III. HASIL PENELITIAN

#### A. Efek Arus Listrik Terhadap Jumlah Koloni Bakteri

Penelitian dilakukan pada sampel daging yang sudah disterilisasi dengan cara pemanasan. Sampel daging memiliki ukuran  $1 \times 1 \times 1 \text{ cm}^3$  dan dimasukkan kedalam media NB yang telah diberi bakteri *Pseudomonas aeruginosa* serta sampel diinkubasi selama 18 jam. Pada saat treatment sampel diletakkan dalam cawan petri yang telah disterilkan. Treatment dilakukan menggunakan tegangan searah 10 volt selama 30 menit, sedangkan arus listrik dirubah dari 20 mA sampai dengan 60 mA.

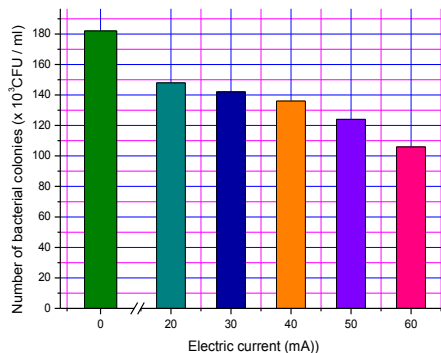
Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah koloni bakteri sebelum dilakukan treatment adalah  $182 \times 10^3$  CFU/ml. Setelah sampel ditreatment dengan arus 20 mA jumlah koloni bakteri turun menjadi  $148 \times 10^3$  CFU/ml seperti terlihat pada Tabel 4.1. Treatment dengan arus 50 mA menurunkan jumlah koloni bakteri menjadi  $124 \times 10^3$  CFU/ml Treatment dengan arus 60 mA menurunkan jumlah koloni bakteri menjadi  $106 \times 10^3$  CFU/ml.

Tabel 3.1 setelah diplot dalam bentuk grafis terlihat pada Gambar 3.1. Gambar 3.1. menunjukkan bahwa treatment arus listrik searah pada bakteri dapat menurunkan jumlah koloni bakteri. Treatment dengan arus listrik 20 mA terjadi penurunan jumlah koloni bakteri sebanyak  $34 \times 10^3$  CFU/ml. Treatment dengan arus listrik sampai 50 mA tampak bahwa perubahan penurunan tidak terlalu besar. Sementara itu perubahan arus treatment dari 50 mA ke 60 mA terjadi perubahan penurunan yang relatif besar yaitu  $18 \times 10^3$  CFU/ml. Oleh karena itu

dapat disimpulkan bahwa treatment arus listrik dengan tegangan 10 volt penurunan akan signifikan jika menggunakan arus listrik lebih besar dari 50 mA

Tabel 3.1 Data jumlah koloni bakteri tersisa karena treatment arus listrik selama 30 menit dengan potensial listrik 10 volt (bakteri *Pseudomonas aeruginosa*)

Arus Listrik (mA)	Jumlah Koloni Bakteri ( x 10 <sup>3</sup> CFU/ml)			Rata-Rata x 10 <sup>3</sup> CFU/ml
	Eks 1	Eks 2	Eks 3	
Control	189	176	181	182
20	156	143	145	148
30	143	139	144	142
40	143	133	132	136
50	131	123	118	124
60	110	99	109	106



Gambar 3.1 Efek arus listrik terhadap jumlah koloni bakteri dengan lama treatment 30 menit dan potensial listrik 10 volt (bakteri *Pseudomonas aeruginosa*)

## B. Efek Tegangan Listrik terhadap Jumlah Koloni Bakteri

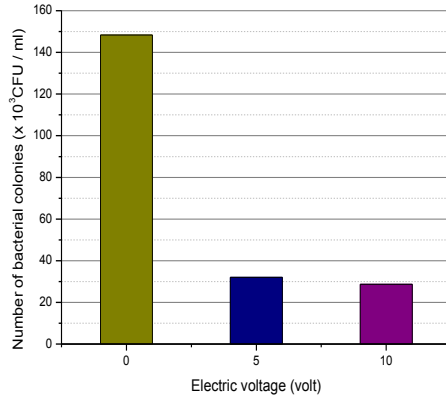
Penelitian ini dilakukan menggunakan arus listrik berpulsa dengan frekwensi pulsa 150 kHz selama 30 menit. Sebelum diberi

treatment jumlah koloni bakteri *Pseudomonas aeruginosa* yang menginfeksi daging sebanyak  $148,33 \times 10^3$  CFU/ml. Ketika sampel diberi treatment dengan tegangan 5 volt selama 30 menit jumlah koloni bakteri berkurang, sehingga menjadi  $32 \times 10^3$  CFU/ml. Apabila tegangan listrik dinaikkan menjadi 10 volt jumlah koloni berkurang lebih besar, sehingga menjadi  $28,67 \times 10^3$  CFU/ml, seperti terlihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Data jumlah koloni bakteri tersisa karena treatment dengan tegangan listrik berbeda. Treatment dilakukan selama 30 menit dengan frekwensi pulsa 150 kHz (bakteri *Pseudomonas aeruginosa*)

Potensial (volt)	Jumlah Koloni Bakteri ( $\times 10^3$ CFU/ml)			Rata-Rata $\times 10^3$ CFU/ml
	Eks 1	Eks 2	Eks 3	
Control	105	120	220	148,33
5	39	35	22	32,00
10	41	31	14	28,67

Hasil plot berbentuk grafik dari tabel 3.2 terlihat pada Gambar 3.2. Grafik menunjukkan bahwa treatment dengan arus listrik dengan jumlah pulsa perdetik 150 k terjadi penurunan jumlah koloni bakteri yang cukup besar yaitu dari  $149,33 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $32 \times 10^3$  CFU/ml. Perubahan tegangan listrik dari 5 volt menjadi 10 volt membuat perubahan jumlah koloni bakteri yang tidak terlalu besar, seperti terlihat pada Gambar 3.2. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan tegangan listrik tidak terlalu signifikan untuk menurunkan jumlah koloni bakteri.



Gambar 3.2 Efek tegangan listrik terhadap jumlah koloni bakteri dengan lama treatment 30 menit dan frekwensi 150 kHz (bakteri *Pseudomonas aeruginosa*)

### C. Efek Frekwensi Pulsa Listrik terhadap Jumlah Koloni Bakteri

Penelitian dilakukan menggunakan sampel daging yang telah diinfeksi bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. Treatment dilakukan menggunakan arus listrik berbentuk pulsa. Jumlah pulsa perdetik untuk treatment adalah 50, 100, 150 k dan treatment dilakukan selama 30 menit. Treatment menggunakan tegangan listrik 5 volt dengan jumlah pulsa perdetik 50 k menurunkan jumlah koloni bakteri dari  $149,33 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $80 \times 10^3$  CFU/ml atau menurun sebesar  $69,33 \times 10^3$  CFU/ml. Penambahan jumlah pulsa perdetik menjadi 100 Hz terjadi perubahan jumlah bakteri sebesar  $143 \times 10^3$  CFU/ml dibandingkan dengan kontrol, sedangkan dengan jumlah pulsa perdetik 150 k terjadi penurunan sebesar  $140,33 \times 10^3$  CFU/ml, serti terlihat pada Gambar 3.3.

Tabel 3.3 Efek perubahan frekwensi listrik terhadap jumlah koloni bakteri. Treatment dilakukan selama 30 menit dengan tegangan 5 volt (bakteri *Pseudomonas aeruginosa*)

Frekwensi Puls (kHz)	Jumlah Koloni Bakteri ( x 10 <sup>3</sup> CFU/ml)			Rata-Rata x 10 <sup>3</sup> CFU/ml
	Eks 1	Eks 2	Eks 3	
Control	105	120	220	148,33
50	89	76	75	80,00
100	55	26	25	35,33
150	39	35	22	32,00

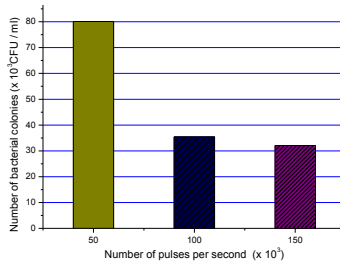
Tabel 3.4 Efek perubahan frekwensi listrik terhadap jumlah koloni bakteri. Treatment dilakukan selama 30 menit dengan tegangan 10 volt (bakteri *Pseudomonas aeruginosa*)

Frekwensi Puls (kHz)	Jumlah Koloni Bakteri ( x 10 <sup>3</sup> CFU/ml)			Rata-Rata x 10 <sup>3</sup> CFU/ml
	Eks 1	Eks 2	Eks 3	
Control	105	120	220	148,33
50	68	57	28	51,00
100	48	30	20	32,67
150	41	31	14	28,67

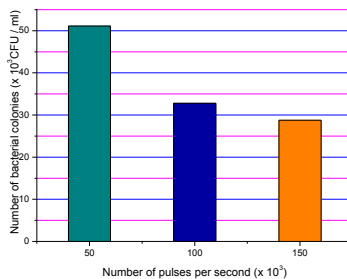
Treatment menggunakan arus listrik dengan jumlah pulsa perdetik 50, 100, 150 k dan tegangan 10 volt serta lama treatment 30 menit, akan membuat jumlah koloni bakteri berubah dari 148,33 x 10<sup>3</sup> CFU/ml menjadi berturut-turut 51,0; 32,67; dan 28,67 x 10<sup>3</sup> CFU/ml, seperti terlihat pada Tabel 3.4. Penurunan jumlah koloni bakteri yang terjadi berbeda sedikit apabila dibandingkan dengan potensial listrik 5 volt.

Tabel 3.3 dan 3.4 apabila diplot dalam bentuk grafik berturut-turut terlihat pada Gambar 3.3 dan 3.4. Grafik menunjukkan bahwa pemberian treatment menggunakan arus listrik dengan tegangan 5 volt dan 10 volt dengan frekwensi pulsa 50 kHz terjadi pengurangan jumlah koloni bakteri yang signifikan apabila dibandingkan dengan tidak diberi treatment. Akan tetapi pemberian treatment dengan frekwensi pulsa 100

dan 150 kHz perubahan penurunan jumlah bakteri relatif kecil apabila dibandingkan dengan menggunakan frekwensi pulsa 50 kHz, serti terlihat pada grafik Gambar 3.3 dan 3.4.



Gambar 3.3 Efek perubahan jumlah pulsa perdetik terhadap jumlah koloni bakteri dengan lama treatment 30 menit dan tegangan listrik 5 volt (bakteri *Pseudomonas aeruginosa*)



Gambar 3.4 Efek perubahan Freksensi pulsa listrik terhadap jumlah koloni bakteri dengan lama treatment 30 menit dan tegangan listrik 10 volt (bakteri *Pseudomonas aeruginosa*)

## D. Efek Lama Treatment terhadap Jumlah Koloni Bakteri

### D.1 Bakteri *Staphylococcus aureus*

Penelitian ini menggunakan sampel daging yang sudah disterilkan dengan cara pemansan yaitu menggunakan *autoclave*.

Sampel dimasukkan kedalam media NA yang telah diinkubasi dengan bakteri. Treatment dilakukan dengan posisi sampel berada di cawan petri steril. Selesai treatment bakteri yang akan diberi treatment dihari berikutnya dibiarkan berada pada cawan petri steril dan disimpan pada suhu kamar yaitu 30°C dan kelembaban udara sekitar 65%. Perhitungan jumlah koloni bakteri dilakukan pada bakteri sebagai kontrol dan bakteri yang diberi treatment. Perhitungan jumlah koloni bakteri dilakukan pada hari pertama, kedua, dan ketiga.

#### **-Tegangan Puls 50 volt.**

Treatment dilakukan dengan tegangantegangan 10 volt dan diberi puls 50 volt dengan durasi 50  $\mu$ s serta jumlah puls sebanyak 65 puls perdetik. Sampel ada 4 kelompok yaitu kelompok kontrol (tanpa treatment), kelompok treatment dengan lama treatment 5, 10, dan 15 menit tiap hari.

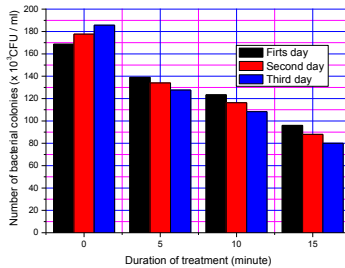
Hasil treatment terlihat seperti pada Tabel 3.5, dimana jumlah koloni bakteri pada sampel sebagai kontrol tiap hari mengalami penambahan meskipun relatif kecil yaitu sebesar  $168,67 \times 10^3$  CFU/ml pada hari pertama dan menjadi  $185,67 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga. Pemberian treatment selama 5 menit, pada hari pertama jumlah koloni bakteri sebesar  $139 \times 10^3$  CFU/ml dan  $127,67 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga. Pemberian treatment selama 10 menit, pada hari pertama jumlah koloni bakteri sebesar  $123,33 \times 10^3$  CFU/ml dan  $108,33 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga. Pemberian treatment selama 15 menit, pada hari pertama jumlah koloni bakteri sebesar  $96,00 \times 10^3$  CFU/ml dan  $80,00 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga, seperti terlihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Data lama treatment dan jumlah koloni bakteri dengan, tegangan listrik yang digunakan treatment 10 volt dengan pontensial pulsa 50 volt, durasi pulsa 50  $\mu$ s dengan jumlah 65 pulsa per detik (bakteri *Staphylococcus aureus*)

Lama Treatment (menit)	Hari ke	Jumlah Koloni Bakteri ( x 10 <sup>3</sup> CFU/ml)			Rata-Rata x 10 <sup>3</sup> CFU/ml
		Eks 1	Eks 2	Eks 3	
Control	1	160	154	192	168,67
	2	144	202	187	177,67
	3	179	182	196	185,67
5	1	156	98	163	139,00
	2	151	94	157	134,00
	3	145	88	150	127,67
10	1	129	95	146	123,33
	2	122	89	138	116,33
	3	114	80	131	108,33
15	1	80	109	99	96,00
	2	71	102	91	88,00
	3	63	93	84	80,00

Hasil plot grafik Tabel 3.5 terlihat pada Gambar 3.5. Grafik menunjukkan bahwa tanpa dilakukan treatment jumlah bakteri mengalami kenaikan. Sementara itu dengan pemberian treatment, maka jumlah koloni bakteri semakin turun setiap harinya. Semakin lama waktu pemberian treatment sehari-harinya, maka jumlah koloni bakteri yang tersisa semakin kecil. Pengurangan jumlah koloni bakteri cukup besar terjadi pada lama treatment 15 menit apabila dibandingkan dengan 10 menit.





Gambar 3.5 Efek lama treatment terhadap jumlah koloni bakteri dengan tegangan listrik yang digunakan treatment 10 volt dengan potensial pulsa 50 volt, durasi pulsa 50  $\mu$ s dengan jumlah 65 pulsa per detik (bakteri *Staphylococcus aureus*)

#### **-Tegangan Puls 60 volt.**

Treatment dilakukan dengan tegangan 10 volt dan diberi puls 60 volt dengan durasi 50  $\mu$ s serta jumlah puls sebanyak 65 puls perdetik. Sampel ada 4 kelompok yaitu kelompok kontrol (tanpa treatment), kelompok treatment dengan lama treatment 5, 10, dan 15 menit tiap hari.

Hasil treatment terlihat seperti pada Tabel 3.6, dimana jumlah koloni bakteri pada sampel sebagai kontrol tiap hari mengalami penambahan meskipun relatif kecil yaitu sebesar  $168,67 \times 10^3$  CFU/ml pada hari pertama dan menjadi  $185,67 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga. Pemberian treatment selama 5 menit, pada hari pertama jumlah koloni bakteri sebesar  $103,67 \times 10^3$  CFU/ml dan  $83,33 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga. Pemberian treatment selama 10 menit, pada hari pertama jumlah

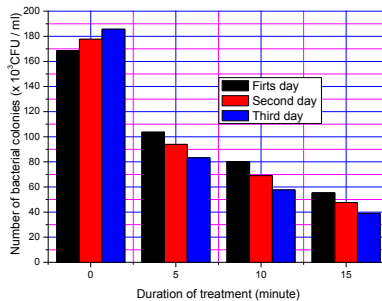
koloni bakteri sebesar  $80,33 \times 10^3$  CFU/ml dan  $57,67 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga. Pemberian treatment selama 15 menit, pada hari pertama jumlah koloni bakteri sebesar  $55,33 \times 10^3$  CFU/ml dan  $39,00 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga, seperti terlihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Data lama treatment dan jumlah koloni bakteri dengan, tegangan listrik yang digunakan treatment 10 volt dengan potensial pulsa 60 volt, durasi pulsa 50  $\mu$ s dengan jumlah 65 pulsa per detik (bakteri *Staphylococcus aureus*)

Lama Treatment (menit)	Hari ke	Jumlah Koloni Bakteri ( $\times 10^3$ CFU/ml)			Rata-Rata $\times 10^3$ CFU/ml
		Eks 1	Eks 2	Eks 3	
Control	1	160	154	192	168,67
	2	144	202	187	177,67
	3	179	182	196	185,67
5	1	88	105	118	103,67
	2	79	96	107	94,00
	3	68	85	97	83,33
10	1	102	89	50	80,33
	2	91	77	39	69,00
	3	78	67	28	57,67
15	1	81	43	42	55,33
	2	70	38	35	47,67
	3	62	29	26	39,00

Hasil plot grafik Tabel 3.6 terlihat pada Gambar 4.6. Grafik menunjukkan bahwa tanpa dilakukan treatment jumlah bakteri mengalami kenaikan. Sementara itu dengan pemberian treatment, maka jumlah koloni bakteri semakin turun setiap harinya. Semakin lama

waktu pemberian treatment sehari-harinya, maka jumlah koloni bakteri yang tersisa semakin kecil. Pengurangan jumlah koloni bakteri cukup besar terjadi pada lama treatment 5 menit apabila dibandingkan dengan tanpa diberikan treatment. Oleh karena itu pemberian pulsa 60 volt memiliki dampak yang signifikan terhadap pengurangan jumlah koloni bakteri.



Gambar 3.6 Efek lama treatment terhadap jumlah koloni bakteri dengan tegangan listrik yang digunakan treatment 10 volt dengan potensial pulsa 60 volt, durasi pulsa 50  $\mu$ s dengan jumlah 65 pulsa per detik (bakteri *Staphylococcus aureus*)

### **-Tegangan Puls 70 volt**

Treatment dilakukan dengan tegangan 10 volt dan diberi puls 70 volt dengan durasi 50  $\mu$ s serta jumlah puls sebanyak 65 puls perdetik. Sampel ada 4 kelompok yaitu kelompok kontrol (tanpa treatment), kelompok treatment dengan lama treatment 5, 10, dan 15 menit tiap hari.

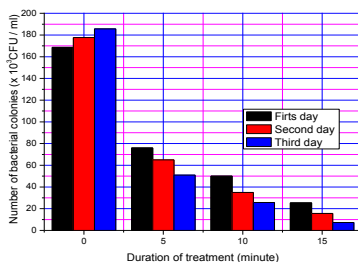
Tabel 3.7 Data lama treatment dan jumlah koloni bakteri dengan, tegangan listrik yang digunakan treatment 10 volt dengan potensial pulsa 70 volt, durasi pulsa 50  $\mu$ s dengan jumlah 65 pulsa per detik (bakteri *Staphylococcus aureus*)

Lama Treatment (menit)	Hari ke	Jumlah Koloni Bakteri ( x 10 <sup>3</sup> CFU/ml)			Rata-Rata x 10 <sup>3</sup> CFU/ml
		Eks 1	Eks 2	Eks 3	
Control	1	160	154	192	168,67
	2	144	202	187	177,67
	3	179	182	196	185,67
5	1	82	66	80	76,00
	2	77	52	66	65,00
	3	64	38	51	51,00
10	1	61	52	37	50,00
	2	45	37	23	35,00
	3	37	29	11	25,67
15	1	34	19	23	25,33
	2	25	11	11	15,67
	3	14	2	6	7,33

Hasil treatment terlihat seperti pada Tabel 3.7, dimana jumlah koloni bakteri pada sampel sebagai kontrol tiap hari mengalami penambahan meskipun relatif kecil yaitu sebesar 168,67 x 10<sup>3</sup> CFU/ml pada hari pertama dan menjadi 185,67 x 10<sup>3</sup> CFU/ml pada hari ketiga. Pemberian treatment selama 5 menit, pada hari pertama jumlah koloni bakteri sebesar 76,00 x 10<sup>3</sup> CFU/ml dan 51,00 x 10<sup>3</sup> CFU/ml pada hari ketiga. Pemberian treatment selama 10 menit, pada hari pertama jumlah koloni bakteri sebesar 50,00 x 10<sup>3</sup> CFU/ml dan 25,67 x 10<sup>3</sup> CFU/ml pada hari ketiga. Pemberian treatment selama 15 menit, pada hari

pertama jumlah koloni bakteri sebesar  $25,33 \times 10^3$  CFU/ml dan  $7,33 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga, seperti terlihat pada Tabel 3.7.

Hasil plot grafik Tabel 3.7 terlihat pada Gambar 3.7. Grafik menunjukkan bahwa tanpa dilakukan treatment jumlah bakteri mengalami kenaikan. Sementara itu dengan pemberian treatment, maka jumlah koloni bakteri semakin turun setiap harinya. Semakin lama waktu pemberian treatment sehari-harinya, maka jumlah koloni bakteri yang tersisa semakin kecil. Pengurangan jumlah koloni bakteri cukup besar terjadi pada lama treatment 5 menit apabila dibandingkan dengan tanpa diberikan treatment. Oleh karena itu pemberian pulsa 70 volt memiliki dampak yang signifikan terhadap pengurangan jumlah koloni bakteri.



Gambar 3.7 Efek lama treatment terhadap jumlah koloni bakteri dengan tegangan listrik yang digunakan treatment 10 volt dengan potensial pulsa 70 volt, durasi pulsa 50  $\mu$ s dengan jumlah 65 pulsa per detik (bakteri *Staphylococcus aureus*)

### **-Tegangan Puls 80 volt**

Treatment dilakukan dengan tegangan 10 volt dan diberi puls 80 volt dengan durasi 50  $\mu$ s serta jumlah puls sebanyak 65 puls

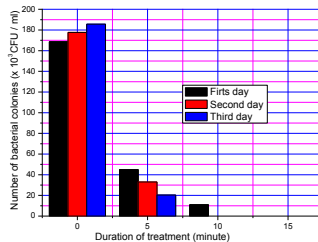
perdetik. Sampel ada 4 kelompok yaitu kelompok kontrol (tanpa treatment), kelompok treatment dengan lama treatment 5, 10, dan 15 menit tiap hari.

Hasil treatment terlihat seperti pada Tabel 3.7, dimana jumlah koloni bakteri pada sampel sebagai kontrol tiap hari mengalami penambahan meskipun relatif kecil yaitu sebesar  $168,67 \times 10^3$  CFU/ml pada hari pertama dan menjadi  $185,67 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga. Pemberian treatment selama 5 menit, pada hari pertama jumlah koloni bakteri sebesar  $45,00 \times 10^3$  CFU/ml dan  $20,33 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga. Pemberian treatment selama 10 menit, pada hari pertama jumlah koloni bakteri sebesar  $11,00 \times 10^3$  CFU/ml dan  $0,00 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga, seperti terlihat pada Tabel 3.7.. Pemberian treatment selama 15 menit membuat sampel menjadi kering, sehingga tidak dapat dialiri arus listrik.

Hasil plot grafik Tabel 3.8 terlihat pada Gambar 3.8. Grafik menunjukkan bahwa tanpa dilakukan treatment jumlah bakteri mengalami kenaikan. Sementara itu dengan pemberian treatment, maka jumlah koloni bakteri semakin turun setiap harinya. Semakin lama waktu pemberian treatment setiap harinya, maka jumlah koloni bakteri yang tersisa semakin kecil. Pengurangan jumlah koloni bakteri cukup besar terjadi pada lama treatment 5 menit apabila dibandingkan dengan tanpa diberikan treatment. Sementara itu pemberian treatment selama 15 menit membuat sampel menjadi kering dan sampel tidak menghantarkan arus listrik.

Tabel 3.8 Data lama treatment dan jumlah koloni bakteri dengan, tegangan listrik yang digunakan treatment 10 volt dengan potensial pulsa 80 volt, durasi pulsa 50  $\mu$ s dengan jumlah 65 pulsa per detik (bakteri *Staphylococcus aureus*)

Lama Treatment (menit)	Hari ke	Jumlah Koloni Bakteri ( x 10 <sup>3</sup> CFU/ml)			Rata-Rata x 10 <sup>3</sup> CFU/ml
		Eks 1	Eks 2	Eks 3	
Control	1	160	154	192	168,67
	2	144	202	187	177,67
	3	179	182	196	185,67
5	1	33	52	50	45,00
	2	21	39	39	33,00
	3	8	27	26	20,33
10	1	5	15	13	11,00
	2	0	0	0	0,00
	3	0	0	0	0,00
15	1	0	0	0	0,00
	2	0	0	0	0,00
	3	0	0	0	0,00



Gambar 3.8 Efek lama treatment terhadap jumlah koloni bakteri dengan tegangan listrik yang digunakan treatment 10 volt dengan potensial pulsa 80 volt, durasi pulsa 50  $\mu$ s dengan jumlah 65 pulsa per detik (bakteri *Staphylococcus aureus*)

## **D.2 Bakteri *Pseudomonas aeruginosa***

Penelitian ini menggunakan sampel daging yang sudah disterilkan dengan cara pemansan yaitu menggunakan *autoclave*. Sampel dimasukkan kedalam media NA yang telah diinkubasi dengan bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. Treatment dilakukan dengan posisi sampel berada di dalam cawan petri steril. Selesai treatment bakteri yang akan diberi treatment dihari berikutnya dibiarkan berada pada cawan petri steril dan disimpan pada suhu kamar. Perhitungan jumlah koloni bakteri dilakukan pada bakteri sebagai kontrol dan bakteri yang diberi treatment. Perhitungan jumlah koloni bakteri dilakukan pada hari pertama, kedua, dan ketiga.

### **-Tegangan Puls 50 volt.**

Treatment dilakukan dengan tegangan 10 volt dan diberi puls 50 volt dengan durasi 50  $\mu$ s serta jumlah puls sebanyak 65 puls perdetik. Sampel ada 4 kelompok yaitu kelompok kontrol (tanpa treatment), kelompok treatment dengan lama treatment 5, 10, dan 15 menit tiap hari.

Hasil treatment terlihat seperti pada Tabel 3.9, dimana jumlah koloni bakteri pada sampel sebagai kontrol tiap hari mengalami penambahan meskipun relatif kecil yaitu sebesar  $176,67 \times 10^3$  CFU/ml pada hari pertama dan menjadi  $204,33 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga. Pemberian treatment selama 5 menit, pada hari pertama jumlah koloni bakteri sebesar  $165,67 \times 10^3$  CFU/ml dan  $142,67 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga. Pemberian treatment selama 10 menit, pada hari pertama jumlah koloni bakteri sebesar  $131,67 \times 10^3$  CFU/ml dan  $118,33 \times 10^3$



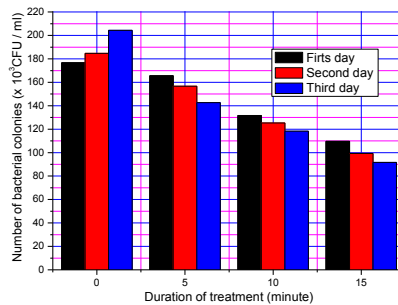
CFU/ml pada hari ketiga. Pemberian treatment selama 15 menit, pada hari pertama jumlah koloni bakteri sebesar  $109,67 \times 10^3$  CFU/ml dan  $91,67 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga, seperti terlihat pada Tabel 3.9.

Tabel 3.9 Data lama treatment dan jumlah koloni bakteri dengan, tegangan listrik yang digunakan treatment 10 volt dengan pontensial pulsa 50 volt, durasi pulsa 50  $\mu$ s dengan jumlah 65 pulsa per detik (bakteri *Pseudomonas aeruginosa*)

Lama Treatment (menit)	Hari ke	Jumlah Koloni Bakteri ( $\times 10^3$ CFU/ml)			Rata-Rata $\times 10^3$ CFU/ml
		Eks 1	Eks 2	Eks 3	
Control	1	177	185	168	176,67
	2	195	183	176	184,67
	3	210	186	217	204,33
5	1	174	160	163	165,67
	2	159	159	152	156,67
	3	144	139	145	142,67
10	1	136	132	127	131,67
	2	129	125	122	125,33
	3	122	119	114	118,33
15	1	112	107	110	109,67
	2	109	93	96	99,33
	3	97	90	88	91,67

Hasil plot grafik Tabel 3.9 terlihat pada Gambar 3.9. Grafik menunjukkan bahwa tanpa dilakukan treatment jumlah bakteri mengalami kenaikan. Sementara itu dengan pemberian treatment, maka jumlah koloni bakteri semakin turun setiap harinya. Semakin lama waktu pemberian treatment sehiap harinya, maka jumlah koloni bakteri yang tersisa semakin kecil. Pengurangan jumlah koloni bakteri cukup

besar terjadi pada lama treatment 10 menit apabila dibandingkan dengan 5 menit.



Gambar 3.9 Efek lama treatment terhadap jumlah koloni bakteri dengan tegangan listrik yang digunakan treatment 10 volt dengan potensial pulsa 50 volt, durasi pulsa 50  $\mu$ s dengan jumlah 65 pulsa per detik (bakteri *Pseudomonas aeruginosa*)

#### **-Tegangan Puls 60 volt.**

Treatment dilakukan dengan tegangan 10 volt dan diberi puls 60 volt dengan durasi 50  $\mu$ s serta jumlah puls sebanyak 65 puls per detik. Sampel ada 4 kelompok yaitu kelompok kontrol (tanpa treatment), kelompok treatment dengan lama treatment 5, 10, dan 15 menit tiap hari.

Hasil treatment terlihat seperti pada Tabel 3.10, dimana jumlah koloni bakteri pada sampel sebagai kontrol tiap hari mengalami penambahan meskipun relatif kecil yaitu sebesar  $176,67 \times 10^3$  CFU/ml pada hari pertama dan menjadi  $204,33 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga. Pemberian treatment selama 5 menit, pada hari pertama jumlah koloni

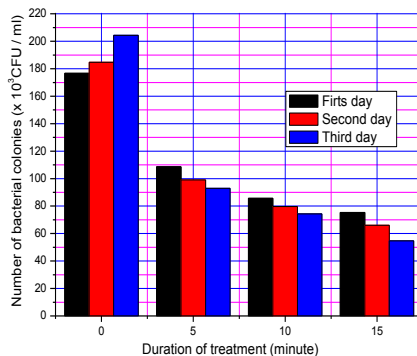
bakteri sebesar  $108,67 \times 10^3$  CFU/ml dan  $93,00 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga. Pemberian treatment selama 10 menit, pada hari pertama jumlah koloni bakteri sebesar  $85,67 \times 10^3$  CFU/ml dan  $74,33 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga. Pemberian treatment selama 15 menit, pada hari pertama jumlah koloni bakteri sebesar  $75,33 \times 10^3$  CFU/ml dan  $54,67 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga, seperti terlihat pada Tabel 3.10.

Tabel 3.10 Data lama treatment dan jumlah koloni bakteri dengan, tegangan listrik yang digunakan treatment 10 volt dengan pontensial pulsa 60 volt, durasi pulsa 50  $\mu$ s dengan jumlah 65 pulsa per detik (bakteri *Pseudomonas aeruginosa*)

Lama Treatment (menit)	Hari ke	Jumlah Koloni Bakteri ( $\times 10^3$ CFU/ml)			Rata-Rata $\times 10^3$ CFU/ml
		Eks 1	Eks 2	Eks 3	
Control	1	177	185	168	176,67
	2	195	183	176	184,67
	3	210	186	217	204,33
5	1	108	109	109	108,67
	2	102	98	97	99,00
	3	96	90	93	93,00
10	1	88	83	86	85,67
	2	82	77	80	79,67
	3	76	72	75	74,33
15	1	80	79	67	75,33
	2	77	62	59	66,00
	3	61	55	48	54,67

Hasil plot grafik Tabel 3.10 terlihat pada Gambar 3.10. Grafik menunjukkan bahwa tanpa dilakukan treatment jumlah bakteri mengalami kenaikan. Sementara itu dengan pemberian treatment, maka

jumlah koloni bakteri semakin turun setiap harinya. Semakin lama waktu pemberian treatment sehari-harinya, maka jumlah koloni bakteri yang tersisa semakin kecil. Pengurangan jumlah koloni bakteri cukup besar terjadi pada lama treatment 5 menit apabila dibandingkan dengan tanpa diberikan treatment, semakin lama waktu treatment perubahan yang terjadi bertambah, akan tetapi tidak terlalu besar.



Tabel 3.10 Efek lama treatment terhadap jumlah koloni bakteri dengan tegangan listrik yang digunakan treatment 10 volt dengan potensial pulsa 60 volt, durasi pulsa 50  $\mu$ s dengan jumlah 65 pulsa per detik (bakteri *Pseudomonas aeruginosa*)

### **-Tegangan Puls 70 volt**

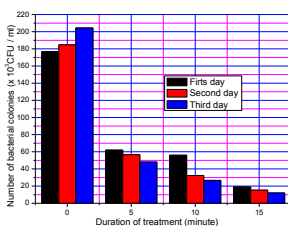
Treatment dilakukan dengan tegangan 10 volt dan diberi puls 70 volt dengan durasi 50  $\mu$ s serta jumlah puls sebanyak 65 puls perdetik. Sampel ada 4 kelompok yaitu kelompok kontrol (tanpa treatment), kelompok treatment dengan lama treatment 5, 10, dan 15 menit tiap hari.

Tabel 3.11 Data lama treatment dan jumlah koloni bakteri dengan, tegangan listrik yang digunakan treatment 10 volt dengan potensial pulsa 70 volt, durasi pulsa 50  $\mu$ s dengan jumlah 65 pulsa per detik (bakteri *Pseudomonas aeruginosa*)

Lama Treatment (menit)	Hari ke	Jumlah Koloni Bakteri ( $\times 10^3$ CFU/ml)			Rata-Rata $\times 10^3$ CFU/ml
		Eks 1	Eks 2	Eks 3	
Control	1	177	185	168	176,67
	2	195	183	176	184,67
	3	210	186	217	204,33
5	1	69	60	57	62,00
	2	53	59	58	56,67
	3	51	48	45	48,00
10	1	99	37	32	56,00
	2	39	33	25	32,33
	3	26	29	25	26,67
15	1	23	16	18	19,00
	2	15	12	19	15,33
	3	10	19	7	12,00

Hasil treatment terlihat seperti pada Tabel 3.11, dimana jumlah koloni bakteri pada sampel sebagai kontrol tiap hari mengalami penambahan meskipun relatif kecil yaitu sebesar  $168,67 \times 10^3$  CFU/ml pada hari pertama dan menjadi  $185,67 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga. Pemberian treatment selama 5 menit, pada hari pertama jumlah koloni bakteri sebesar  $62,00 \times 10^3$  CFU/ml dan  $48,00 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga. Pemberian treatment selama 10 menit, pada hari pertama jumlah koloni bakteri sebesar  $56,00 \times 10^3$  CFU/ml dan  $26,67 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga. Pemberian treatment selama 15 menit, pada hari pertama jumlah

koloni bakteri sebesar  $19,00 \times 10^3$  CFU/ml dan  $12,00 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga, seperti terlihat pada Tabel 3.11.



Tabel 3.11 Efek lama treatment terhadap jumlah koloni bakteri dengan tegangan listrik yang digunakan treatment 10 volt dengan potensial pulsa 70 volt, durasi pulsa 50  $\mu$ s dengan jumlah 65 pulsa per detik (bakteri *Pseudomonas aeruginosa*)

Hasil plot grafik Tabel 3.11 terlihat pada Gambar 3.11. Grafik menunjukkan bahwa tanpa dilakukan treatment jumlah bakteri mengalami kenaikan. Sementara itu dengan pemberian treatment, maka jumlah koloni bakteri semakin turun setiap harinya. Semakin lama waktu pemberian treatment sehiap harinya, maka jumlah koloni bakteri yang tersisa semakin kecil. Pengurangan jumlah koloni bakteri cukup besar terjadi pada lama treatment 5 menit apabila dibandingkan dengan tanpa diberikan treatment. Oleh karena itu pemberian pulsa 70 volt memiliki dampak yang signifikan terhadap pengurangan jumlah koloni bakteri.

### **-Tegangan Puls 80 volt**

Treatment dilakukan dengan tegangan 10 volt dan diberi puls 80 volt dengan durasi 50  $\mu$ s serta jumlah puls sebanyak 65 puls

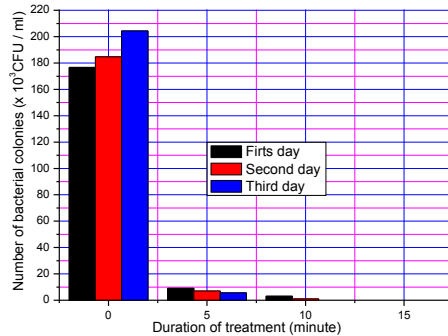
perdetik. Sampel ada 4 kelompok yaitu kelompok kontrol (tanpa treatment), kelompok treatment dengan lama treatment 5, 10, dan 15 menit tiap hari.

Tabel 3.12 Data lama treatment dan jumlah koloni bakteri dengan, tegangan listrik yang digunakan treatment 10 volt dengan potensial pulsa 80 volt, durasi pulsa 50  $\mu$ s dengan jumlah 65 pulsa per detik (bakteri *Pseudomonas aeruginosa*)

Lama Treatment (menit)	Hari ke	Jumlah Koloni Bakteri ( $\times 10^3$ CFU/ml)			Rata-Rata $\times 10^3$ CFU/ml
		Eks 1	Eks 2	Eks 3	
Control	1	177	185	168	176,67
	2	195	183	176	184,67
	3	210	186	217	204,33
5	1	10	11	6	9,00
	2	7	8	6	7,00
	3	8	3	6	5,67
10	1	3	6	0	3,00
	2	2	0	1	1,00
	3	0	0	0	0,00
15	1	0	0	0	0,00
	2	0	0	0	0,00
	3	0	0	0	0,00

Hasil treatment terlihat seperti pada Tabel 3.12, dimana jumlah koloni bakteri pada sampel sebagai kontrol tiap hari mengalami penambahan meskipun relatif kecil yaitu sebesar  $176,67 \times 10^3$  CFU/ml pada hari pertama dan menjadi  $204,33 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga. Pemberian treatment selama 5 menit, pada hari pertama jumlah koloni bakteri sebesar  $9,00 \times 10^3$  CFU/ml dan  $5,67 \times 10^3$  CFU/ml pada hari

ketiga. Pemberian treatment selama 10 menit, pada hari pertama jumlah koloni bakteri sebesar  $3,00 \times 10^3$  CFU/ml dan  $0,00 \times 10^3$  CFU/ml pada hari ketiga, seperti terlihat pada Tabel 3.12.. Pemberian treatment selama 15 menit membuat sampel menjadi kering, sehingga tidak dapat dialiri arus listrik.



Tabel 3.12 Efek lama treatment terhadap jumlah koloni bakteri dengan tegangan listrik yang digunakan treatment 10 volt dengan potensial pulsa 80 volt, durasi pulsa 50  $\mu$ s dengan jumlah 65 pulsa per detik (bakteri *Pseudomonas aeruginosa*)

Hasil plot grafik Tabel 3.12 terlihat pada Gambar 3.12. Grafik menunjukkan bahwa tanpa dilakukan treatment jumlah bakteri mengalami kenaikan. Sementara itu dengan pemberian treatment, maka jumlah koloni bakteri semakin turun setiap harinya. Semakin lama waktu pemberian treatment sehari-hari, maka jumlah koloni bakteri yang tersisa semakin kecil. Pengurangan jumlah koloni bakteri cukup besar terjadi pada lama treatment 5 menit apabila dibandingkan dengan tanpa diberikan treatment. Sementara itu pemberian treatment selama



15 menit membuat sampel menjadi kering dan sampel tidak menghantarkan arus listrik.

## **E. Efek Tegangan Listrik Terhadap Jumlah Koloni Bakteri**

### **E.1 Bakteri *Staphylococcus aureus***

#### **-Treatment 5 menit perhari**

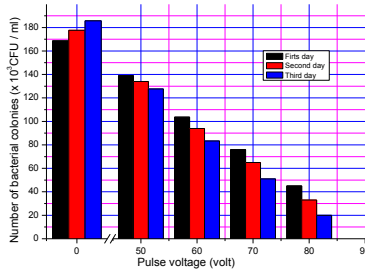
Treatment dengan durasi lima menit setiap hari dapat menurunkan jumlah koloni bakteri yang ada pada sampel. Tanpa diberi treatment jumlah koloni bakteri pada sampel bertambah dari  $168,67 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $185,67 \times 10^3$  CFU/ml selama tiga hari. Pemberian treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 50 volt jumlah koloni bakteri berkurang dari  $139,00 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $127,67 \times 10^3$  CFU/ml selama 3 hari. Pemberian treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 60 volt jumlah koloni bakteri berkurang dari  $103,67 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $83,33 \times 10^3$  CFU/ml selama 3 hari. Pemberian treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 70 volt jumlah koloni bakteri berkurang dari  $45,00 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $20,33 \times 10^3$  CFU/ml selama 3 hari. Pemberian treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 80 volt jumlah koloni bakteri berkurang dari  $76,00 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $51,00 \times 10^3$  CFU/ml selama 3 hari, seperti terlihat pada Tabel 3.13.

Data pada Tabel 3.13 apabila diplot dalam bentuk grafik terlihat pada Gambar 3.13. Grafik menunjukkan bahwa semakin besar tegangan puls yang diberikan, maka semakin besar penurunan jumlah koloni yang terjadi. Perbedaan penurunan jumlah koloni bakteri terbesar terjadi dari perubahan dari tegangan puls 50 volt ke 60 volt, seperti terlihat pada

Gambar 3.13. Oleh karena itu pemberian arus listrik selama 5 menit perhari dengan tegangan pulsa 60 volt cukup signifikan untuk menurunkan jumlah koloni bakteri.

Tabel 3.13 Efek Tegangan pulsa Listrik terhadap jumlah koloni bakteri. Lama treatment 5 menit dan tegangan listrik 10 volt (bakteri *Staphylococcus aureus*)

Tegangan pulsa (volt)	Hari ke	Jumlah Koloni Bakteri ( x 10 <sup>3</sup> CFU/ml)			Rata-Rata x 10 <sup>3</sup> CFU/ml
		Eks 1	Eks 2	Eks 3	
Control	1	160	154	192	168,67
	2	144	202	187	177,67
	3	179	182	196	185,67
50	1	156	98	163	139,00
	2	151	94	157	134,00
	3	145	88	150	127,67
60	1	88	105	118	103,67
	2	79	96	107	94,00
	3	68	85	97	83,33
70	1	82	66	80	76,00
	2	77	52	66	65,00
	3	64	38	51	51,00
80	1	33	52	50	45,00
	2	21	39	39	33,00
	3	8	27	26	20,33



Gambar 3.13 Efek Tegangan pulsa Listrik terhadap jumlah koloni bakteri. Lama treatment 5 menit dan tegangan listrik 10 volt (bakteri *Staphylococcus aureus*)

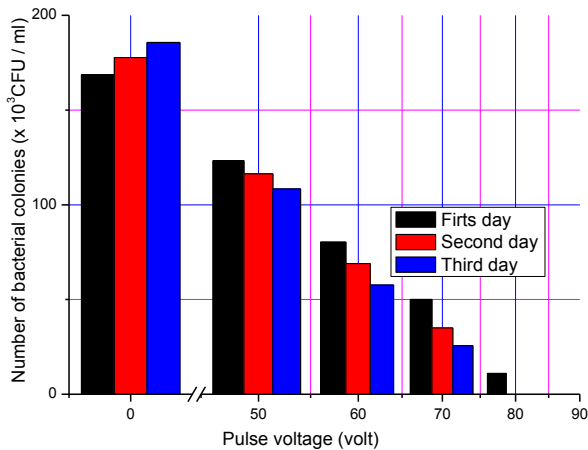
#### -Treatment 10 menit perhari

Treatment dengan durasi lima menit setiap hari dapat menurunkan jumlah koloni bakteri yang ada pada sampel. Tanpa diberi treatment jumlah koloni bakteri pada sampel bertambah dari  $168,67 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $185,67 \times 10^3$  CFU/ml selama tiga hari. Pemberian treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 50 volt jumlah koloni bakteri berkurang dari  $123,33 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $108,33 \times 10^3$  CFU/ml selama 3 hari. Pemberian treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 60 volt jumlah koloni bakteri berkurang dari  $80,33 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $57,67 \times 10^3$  CFU/ml selama 3 hari. Pemberian treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 70 volt jumlah koloni bakteri berkurang dari  $50,00 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $25,67 \times 10^3$  CFU/ml selama 3 hari. Pemberian treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 80 volt jumlah koloni bakteri berkurang dari  $11,00 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $0,00 \times 10^3$  CFU/ml selama 3 hari, seperti terlihat pada Tabel 3.14.

Tabel 3.14 Efek Tegangan pulsa Listrik terhadap jumlah koloni bakteri.  
 Lama treatment 10 menit dan tegangan listrik 10 volt  
 (bakteri *Staphylococcus aureus*)

Tegangan pulsa (volt)	Hari ke	Jumlah Koloni Bakteri ( x 10 <sup>3</sup> CFU/ml)			Rata-Rata x 10 <sup>3</sup> CFU/ml
		Eks 1	Eks 2	Eks 3	
Control	1	160	154	192	168,67
	2	144	202	187	177,67
	3	179	182	196	185,67
50	1	129	95	146	123,33
	2	122	89	138	116,33
	3	114	80	131	108,33
60	1	102	89	50	80,33
	2	91	77	39	69,00
	3	78	67	28	57,67
70	1	61	52	37	50,00
	2	45	37	23	35,00
	3	37	29	11	25,67
80	1	5	15	13	11,00
	2	0	0	0	0,00
	3	0	0	0	0,00

Data pada Tabel 3.14 apabila diplot dalam bentuk grafik terlihat pada Gambar 3.14. Grafik menunjukkan bahwa semakin besar tegangan puls yang diberikan, maka semakin besar penurunan jumlah koloni yang terjadi. Perbedaan penurunan jumlah koloni bakteri terbesar terjadi dari perubahan dari tegangan puls 0 volt ke 50 volt juga terjadi dari 50 volt ke 60 volt, seperti terlihat pada Gambar 3.13. Oleh karena itu pemberian arus listrik selama 10 menit perhari dengan tegangan pulsa 50 volt cukup signifikan untuk menurunkan jumlah koloni bakteri.



Gambar 3.14 Efek Tegangan pulsa Listrik terhadap jumlah koloni bakteri. Lama treatment 10 menit dan tegangan listrik 10 volt (bakteri *Staphylococcus aureus*)

#### -Treatment 15 menit perhari

Treatment dengan durasi lima menit setiap hari dapat menurunkan jumlah koloni bakteri yang ada pada sampel. Tanpa diberi treatment jumlah koloni bakteri pada sampel bertambah dari  $168,67 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $185,67 \times 10^3$  CFU/ml selama tiga hari. Pemberian treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 50 volt jumlah koloni bakteri berkurang dari  $96,00 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $80,00 \times 10^3$  CFU/ml selama 3 hari. Pemberian treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 60 volt jumlah koloni bakteri berkurang dari  $55,33 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $39,00 \times 10^3$  CFU/ml selama 3 hari. Pemberian

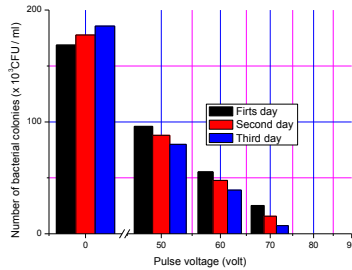
treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 70 volt jumlah koloni bakteri berkurang dari  $25,33 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $7,33 \times 10^3$  CFU/ml selama 3 hari. Pemberian treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 80 volt membuat sampel kering, sehingga tidak dapat mengalirkan listrik serta jumlah koloni bakteri tidak ada, seperti terlihat pada Tabel 3.15.

Tabel 3.15 Efek Tegangan pulsa Listrik terhadap jumlah koloni bakteri. Lama treatment 15 menit dan tegangan listrik 10 volt (bakteri *Staphylococcus aureus*)

Potensial pulsa (volt)	Hari ke	Jumlah Koloni Bakteri ( x 10 <sup>3</sup> CFU/ml)			Rata-Rata x 10 <sup>3</sup> CFU/ml
		Eks 1	Eks 2	Eks 3	
Control	1	160	154	192	168,67
	2	144	202	187	177,67
	3	179	182	196	185,67
50	1	80	109	99	96,00
	2	71	102	91	88,00
	3	63	93	84	80,00
60	1	81	43	42	55,33
	2	70	38	35	47,67
	3	62	29	26	39,00
70	1	34	19	23	25,33
	2	25	11	11	15,67
	3	14	2	6	7,33
80	1	0	0	0	0,00
	2	0	0	0	0,00
	3	0	0	0	0,00

Data pada Tabel 3.15 apabila diplot dalam bentuk grafik terlihat pada Gambar 3.15. Grafik menunjukkan bahwa semakin besar tegangan puls yang diberikan, maka semakin besar penurunan jumlah koloni yang terjadi. Perbedaan penurunan jumlah koloni bakteri terbesar terjadi dari perubahan dari tegangan puls 0 volt ke 50 volt juga terjadi dari 50 volt

ke 60 volt, seperti terlihat pada Gambar 3.15. Oleh karena itu pemberian arus listrik selama 15 menit perhari dengan tegangan pulsa 50 volt cukup signifikan untuk menurunkan jumlah koloni bakteri.



Gambar 3.15 Efek Tegangan pulsa Listrik terhadap jumlah koloni bakteri. Lama treatment 15 menit dan tegangan listrik 10 volt (bakteri *Staphylococcus aureus*)

## E.2 Bakteri *Pseudomonas aeruginosa*

### -Treatment 5 menit perhari

Treatment dengan durasi lima menit setiap hari dapat menurunkan jumlah koloni bakteri yang ada pada sampel. Tanpa diberi treatment jumlah koloni bakteri pada sampel bertambah dari  $176,67 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $204,33 \times 10^3$  CFU/ml selama tiga hari. Pemberian treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 50 volt jumlah koloni bakteri berkurang dari  $165,67 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $142,67 \times 10^3$  CFU/ml selama 3 hari. Pemberian treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 60 volt jumlah koloni bakteri berkurang dari  $108,67 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $93,00 \times 10^3$  CFU/ml selama 3 hari. Pemberian treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 70 volt jumlah koloni bakteri berkurang dari  $62,00 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $48,00 \times 10^3$  CFU/ml selama 3 hari.

CFU/ml selama 3 hari. Pemberian treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 80 volt jumlah koloni bakteri berkurang dari  $9,00 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $5,67 \times 10^3$  CFU/ml selama 3 hari, seperti terlihat pada Tabel 3.16.

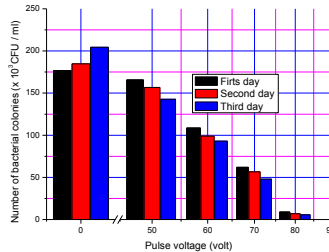
Tabel 3.16 Efek Tegangan pulsa Listrik terhadap jumlah koloni bakteri. Lama treatment 5 menit dan tegangan listrik 10 volt (bakteri *Pseudomonas aeruginosa*)

Tegangan pulsa (volt)	Hari ke	Jumlah Koloni Bakteri ( $\times 10^3$ CFU/ml)			Rata-Rata $\times 10^3$ CFU/ml
		Eks 1	Eks 2	Eks 3	
Control	1	177	185	168	176,67
	2	195	183	176	184,67
	3	210	186	217	204,33
50	1	174	160	163	165,67
	2	159	159	152	156,67
	3	144	139	145	142,67
60	1	108	109	109	108,67
	2	102	98	97	99,00
	3	96	90	93	93,00
70	1	69	60	57	62,00
	2	53	59	58	56,67
	3	51	48	45	48,00
80	1	10	11	6	9,00
	2	7	8	6	7,00
	3	8	3	6	5,67

Data pada Tabel 3.16 apabila diplot dalam bentuk grafik terlihat pada Gambar 3.16. Grafik menunjukkan bahwa semakin besar tegangan puls yang diberikan, maka semakin besar penurunan jumlah koloni yang



terjadi. Perbedaan penurunan jumlah koloni bakteri terbesar terjadi dari perubahan dari tegangan puls 50 volt ke 60 volt dan 60 volt ke 70 volt, seperti terlihat pada Gambar 3.16. Oleh karena itu pemberian arus listrik selama 5 menit perhari dengan tegangan pulsa 60 volt cukup signifikan untuk menurunkan jumlah koloni bakteri.



Gambar 3.16 Efek Tegangan pulsa Listrik terhadap jumlah koloni bakteri. Lama treatment 5 menit dan tegangan listrik 10 volt (bakteri *Pseudomonas aeruginosa*)

### -Treatment 10 menit perhari

Treatment dengan durasi lima menit setiap hari dapat menurunkan jumlah koloni bakteri yang ada pada sampel. Tanpa diberi treatment jumlah koloni bakteri pada sampel bertambah dari  $176,67 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $204,33 \times 10^3$  CFU/ml selama tiga hari. Pemberian treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 50 volt jumlah koloni bakteri berkurang dari  $131,67 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $118,33 \times 10^3$  CFU/ml selama 3 hari. Pemberian treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 60 volt jumlah koloni bakteri berkurang dari  $85,67 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $74,33 \times 10^3$  CFU/ml selama 3 hari. Pemberian treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 70 volt jumlah koloni

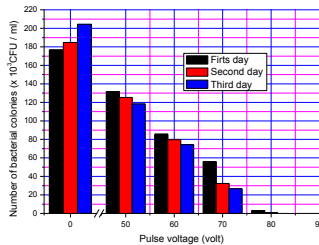
bakteri berkurang dari  $56,00 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $26,67 \times 10^3$  CFU/ml selama 3 hari. Pemberian treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 80 volt jumlah koloni bakteri berkurang dari  $3,00 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $0,00 \times 10^3$  CFU/ml selama 3 hari, seperti terlihat pada Tabel 3.17.

Tabel 3.17 Efek Tegangan pulsa Listrik terhadap jumlah koloni bakteri. Lama treatment 10 menit dan tegangan listrik 10 volt (bakteri *Pseudomonas aeruginosa*)

Tegangan pulsa (volt)	Hari ke	Jumlah Koloni Bakteri ( x 10 <sup>3</sup> CFU/ml)			Rata-Rata x 10 <sup>3</sup> CFU/ml
		Eks 1	Eks 2	Eks 3	
Control	1	177	185	168	176,67
	2	195	183	176	184,67
	3	210	186	217	204,33
50	1	136	132	127	131,67
	2	129	125	122	125,33
	3	122	119	114	118,33
60	1	88	83	86	85,67
	2	82	77	80	79,67
	3	76	72	75	74,33
70	1	99	37	32	56,00
	2	39	33	25	32,33
	3	26	29	25	26,67
80	1	3	6	0	3,00
	2	2	0	1	1,00
	3	0	0	0	0,00

Data pada Tabel 3.17 apabila diplot dalam bentuk grafik terlihat pada Gambar 3.17. Grafik menunjukkan bahwa semakin besar tegangan puls yang diberikan, maka semakin besar penurunan jumlah koloni yang

terjadi. Perbedaan penurunan jumlah koloni bakteri terbesar terjadi dari perubahan dari tegangan puls 0 volt ke 50 volt juga terjadi dari 50 volt ke 60 volt, seperti terlihat pada Gambar 3.17. Oleh karena itu pemberian arus listrik selama 10 menit perhari dengan tegangan pulsa 50 volt cukup signifikan untuk menurunkan jumlah koloni bakteri.



Gambar 3.17 Efek Tegangan pulsa Listrik terhadap jumlah koloni bakteri. Lama treatment 10 menit dan tegangan listrik 10 volt (bakteri *Pseudomonas aeruginosa*)

### -Treatment 15 menit perhari

Treatment dengan durasi lima menit setiap hari dapat menurunkan jumlah koloni bakteri yang ada pada sampel. Tanpa diberi treatment jumlah koloni bakteri pada sampel bertambah dari 176,67 x 10<sup>3</sup> CFU/ml menjadi 204,33 x 10<sup>3</sup> CFU/ml selama tiga hari. Pemberian treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 50 volt jumlah koloni bakteri berkurang dari 109,67 x 10<sup>3</sup> CFU/ml menjadi 91,67 x 10<sup>3</sup> CFU/ml selama 3 hari. Pemberian treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 60 volt jumlah koloni bakteri berkurang dari 75,33 x 10<sup>3</sup> CFU/ml menjadi 54,67 x 10<sup>3</sup> CFU/ml selama 3 hari. Pemberian treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 70 volt jumlah koloni bakteri berkurang dari 19,00 x 10<sup>3</sup> CFU/ml menjadi 12,00 x 10<sup>3</sup>

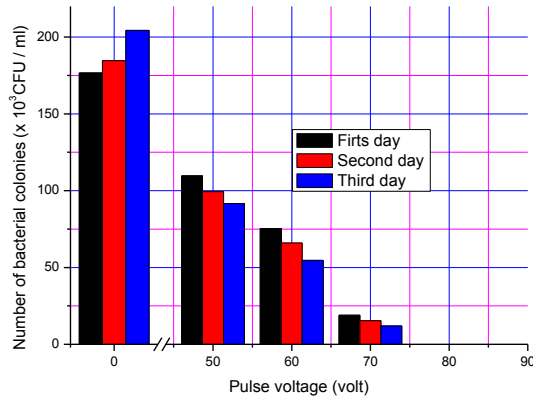
CFU/ml selama 3 hari. Pemberian treatment arus listrik dengan tegangan pulsa 80 volt membuat sampel kering, sehingga tidak dapat mengalirkan listrik serta jumlah koloni bakteri tidak ada, seperti terlihat pada Tabel 3.18.

Tabel 3.18 Efek Tegangan pulsa Listrik terhadap jumlah koloni bakteri. Lama treatment 15 menit dan tegangan listrik 10 volt (bakteri *Pseudomonas aeruginosa*)

Tegangan pulsa (volt)	Hari ke	Jumlah Koloni Bakteri ( x 10 <sup>3</sup> CFU/ml)			Rata-Rata x 10 <sup>3</sup> CFU/ml
		Eks 1	Eks 2	Eks 3	
Control	1	177	185	168	176,67
	2	195	183	176	184,67
	3	210	186	217	204,33
50	1	112	107	110	109,67
	2	109	93	96	99,33
	3	97	90	88	91,67
60	1	80	79	67	75,33
	2	77	62	59	66,00
	3	61	55	48	54,67
70	1	23	16	18	19,00
	2	15	12	19	15,33
	3	10	19	7	12,00
80	1	0	0	0	0,00
	2	0	0	0	0,00
	3	0	0	0	0,00

Data pada Tabel 3.18 apabila diplot dalam bentuk grafik terlihat pada Gambar 3.18. Grafik menunjukkan bahwa semakin besar tegangan puls yang diberikan, maka semakin besar penurunan jumlah koloni yang

terjadi. Perbedaan penurunan jumlah koloni bakteri terbesar terjadi dari perubahan dari tegangan puls 0 volt ke 50 volt juga terjadi dari 50 volt ke 60 volt, seperti terlihat pada Gambar 3.18. Oleh karena itu pemberian arus listrik selama 15 menit perhari dengan tegangan pulsa 50 volt cukup signifikan untuk menurunkan jumlah koloni bakteri.



Gambar 3.18 Efek Tegangan pulsa Listrik terhadap jumlah koloni bakteri. Lama treatment 15 menit dan tegangan listrik 10 volt (bakteri *Pseudomonas aeruginosa*)

#### F. Efek Medan Listrik terhadap Luka

Penelitian ini menggunakan 10 ekor mencit (*Mus musculus*) yang berumur sekitar 2 bulan. Lima ekor digunakan sebagai kontrol dan 5 ekor yang lain diberikan treatment dengan tegangan 10 volt dan tegangan puls 80 volt selama 15 menit tiap hari. Berat badan mencit sebagai sampel rata-rata 22,2 gram dengan kadar glukosa darah normal setelah dipuasakan antara 72-83 mg/dl. Setelah diukur kadar gula normal mencit disuntik dengan alloxan tetrahydrat 70 mg/kg dan

ditunggu selama 5 hari kemudian mencit dipuasakan dan diukur kadar glukosa darahnya. Hasil pengukuran kadar glukosa darah setelah penyuntikan adalah antara 159-264 mg/dl (terlihat pada Tabel 3.19) dan menunjukkan bahwa mencit telah menderita diabetes. Berikutnya mencit dilukai pada bagian kaki atas sampai ke daging dan diberikan treatment pada hari berikutnya.

Tabel. 3.19 Data berat dan kadar glukosa mencit (*Mus musculus*) sebelum dan sesudah disuntik dengan alloxan tetrahidrat 70 mg/kg






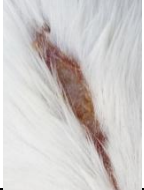

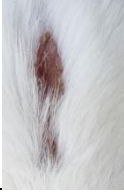
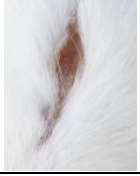


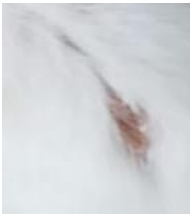



No	Kelompok kontrol				Kelompok perlakuan			
	BB meci it (gr)	Kadar glukosa darah (mg/dl)			BB meci t (gr)	Kadar glukosa darah (mg/dl)		
		Norm	awal	akhir		Norm	awal	akhir
1	22	72	159	172	23	79	197	172
2	20	76	177	198	24	78	194	150
3	22	72	173	184	22	76	154	166
4	21	73	155	141	23	83	264	211
5	24	80	236	204	21	73	187	177

Tabel 3.20 Kondisi perubahan kondisi luka mencit pada kontrol dan treatment. Treatment dengan tegangan 10 volt dan pulsa 80 volt selama 15 menit perhari
















No	Kondisi luka mencit pada hari ke-						
	1	2	3	4	5	6	7
<b>Kontrol</b>							
<b>1</b>	Kemerahan Bengkak	Kemerahan Bengkak	Kemerahan Bengkak	Kemerahan Bengkak Menge-ring	Kemerahan Bengkak Menge-ring	Menge-ring	Menge-ring
<b>2</b>	Kemerahan Bengkak	Kemerahan Bengkak	Kemerahan Bengkak	Kemerahan Bengkak Menge-ring	Kemerahan Bengkak Menge-ring	Kemerahan Menge-ring	Menge-ring
<b>3</b>	Kemerahan Bengkak	Kemerahan Bengkak	Kemerahan Bengkak	Kemerahan Bengkak Menge-ring	Kemerahan Bengkak Menge-ring	Kemerahan Menge-ring	Menge-ring
<b>4</b>	Kemerahan Bengkak	Kemerahan Bengkak	Kemerahan Bengkak	Kemerahan Bengkak Menge-ring	Kemerahan Menge-ring	Menge-ring	Menge-ring
<b>5</b>	Kemerahan Bengkak	Kemerahan Bengkak	Kemerahan Bengkak	Kemerahan Bengkak	Kemerahan Bengkak Menge-ring	Kemerahan Bengkak Menge-ring	Kemerahan Menge-ring
<b>Perlakuan</b>							

<b>1</b>	Kemerahan Bengk ak	Kemerahan Bengk ak	Kemerahan Bengk ak	Kemerahan Bengk ak Menge ring	Kemerahan Menge ring	Menge ring	Menge ring
<b>2</b>	Kemerahan Bengk ak	Kemerahan Bengk ak	Kemerahan Bengk ak	Kemerahan Bengk ak Menge ring	Kemerahan Menge ring	Menge ring	Menut up
<b>3</b>	Kemerahan Bengk ak	Kemerahan Bengk ak	Kemerahan Bengk ak	Kemerahan Menge ring	Menge ring	Menge ring	Menut up
<b>4</b>	Kemerahan Bengk ak	Kemerahan Bengk ak	Kemerahan Bengk ak	Kemerahan Bengk ak	Kemerahan Bengk ak Menge ring	Kemerahan Menge ring	Menge ring
<b>5</b>	Kemerahan Bengk ak	Kemerahan Bengk ak	Kemerahan Bengk ak	Kemerahan Menge ring	Menge ring	Menge ring	Menut up



Control	Hari 1	Hari 3	Hari 7
1			
2			
3			
4			
5			

(a)

Treatment	Hari 1	Hari 3	Hari 7
1			
2			
3			
4			
5			

(b)

Gambar 3.20 luka mencit sebelum dan sesudah diberi treatment dengan tegangan 10 volt dan pulsa 80 volt selama 15 menit perhari (a) kelompok tanpa treatment, (b) kelompok dengan treatment

Pada hari pertama menunjukkan bahwa luka mencit mengalami kemerahan dan peradangan termasuk hari kedua dan ketiga (terlihat pada tabel 3.20 dan Gambar 3.20). Pada hari keempat dan kelima sebagian luka mencit mulai mengering. Pada hari ke-7 pada mencit kontrol 4 mulai mengering dan 1 mencit masih kemerahan, sedangkan pada mencit yang diberi treatment 3 mencit lukanya mulai menutup dan 2 mencit mengering (terlihat pada tabel 3.20 dan Gambar 3.20). Pada mencit kontrol nomor 5 dan treatment nomor 4 tampak luka lebih lebar dibandingkan dengan lainnya (Gambar 3.20), karena kadar glukosa darah lebih tinggi dari yang lain. Oleh karena itu pemberian treatment dengan arus listrik akan mempercepat penyembuhan luka pada penderita diabetes.

## IV. DISKUSI DATA TEMUAN PENELITIAN

### A. Diskusi Data

Arus listrik searah dengan tegangan 10 volt terbukti dapat digunakan untuk menurunkan jumlah koloni bakteri *Pseudomonas aeruginosa* yang tumbuh pada daging. Treatment akan memberikan dampak yang cukup signifikan apabila kuat arus listrik yang digunakan diatas 50 mA, dimana treatment selama 30 menit jumlah koloni bakteri berkurang dari  $182 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $124 \times 10^3$  CFU/ml. Ruiz-Ruigomez mengungkapkan bahwa treatment biofilm *Pseudomonas aeruginosa* dari bakteri dengan arus 500  $\mu$ A selama 24 jam dari 2,2 log cfu/cm<sup>2</sup> menjadi 0,9 log cfu/cm<sup>2</sup>. Hal ini terjadi karena arus searah pada bakteri akan memproduksi spesies oksigen reaktif serta membangkit radikal bebas beracun lainnya. Klorin telah diidentifikasi sebagai zat beracun yang berperan dalam efek bakterisida arus listrik terhadap bakteri (Ruiz-Ruigomez, et. al., 2016).

Pulsa arus listrik dengan frekwensi pulsa 150 kHz terbukti dapat mengurangi jumlah koloni bakteri *Pseudomonas aeruginosa* yang ada pada daging. Treatment selama 30 menit dengan tegangan listrik dapat mengurangi jumlah koloni bakteri dari  $148,33 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $32,00 \times 10^3$  CFU/ml. Penelitian identik dilakukan oleh Mirzaii, M melaporkan bahwa bahwa arus bolak-balik dengan frekwensi 1 MHz dan tegangan 6 volt berpengaruh pada kurva pertumbuhan *S. aureus* dan *P. aeruginosa*, mengurangi populasi bakteri melalui efektivitas bakteristatik. Pengurangan jumlah bakteri ini terjadi akibat

adanya spesies oksigen reaktif juga disebabkan oleh efek kejutan dari pulsa listrik.

Perubahan frekuensi pulsa arus listrik juga berpotensi untuk mengurangi jumlah bakteri *Pseudomonas aeruginosa* yang ada pada daging. Menggunakan arus listrik dengan tegangan 5 volt dengan waktu treatment 30 menit jumlah koloni bakteri berkurang dari  $148,33 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $80,00 \times 10^3$  CFU/ml pada frekuensi 50 kHz dan menjadi  $32 \times 10^3$  CFU/ml pada frekuensi 150 kHz. Begitu pula pada tegangan 10 volt, dimana jumlah bakteri berkurang menjadi  $51 \times 10^3$  CFU/ml pada frekuensi 50 kHz dan menjadi  $28,67 \times 10^3$  CFU/ml pada frekuensi 150 kHz. Hal ini identik dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Dehghani, 2018.

Stimulasi arus listrik dengan tegangan 10 volt dan diberi pulsa 50 – 80 volt memberi pengaruh yang signifikan terhadap penurunan jumlah bakteri. Treatment selama tiga hari dengan lama treatment 5 menit perhari dan tegangan pulsa 50 volt dapat menurunkan jumlah koloni bakteri *Staphylococcus aureus* dari  $185,67 \times 10^3$  CFU/ml menjadi  $127,67 \times 10^3$  CFU/ml selama 3 hari. Begitu pula untuk treatment selama 10 menit dan 15 menit. Kondisi yang identik juga terjadi pada bakteri *Pseudomonas aeruginosa*. Selain lama treatment tegangan pulsa treatment juga memperbesar pengurangan jumlah bakteri. Hal ini terjadi karena penambahan lama treatment akan menambah jumlah spesies oksigen reaktif yang terjadi dan jumlah kejutan yang diterima oleh bakteri. Sementara itu peningkatan tegangan pulsa akan menambah intensitas kejutan yang diterima oleh bakteri, sehingga membuat lebih banyak bakteri yang membunuhnya rusak.

Pemberian stimulasi arus listrik dengan tegangan pulsa 80 volt selama 15 menit sehari membuat sampel menjadi kering. Oleh karena itu pada besaran tersebut memungkinkan untuk digunakan untuk treatment luka pada penderita diabetes.

Treatment luka pada mencit yang menderita diabetes menggunakan stimulasi arus listrik terbukti mempercepat penyembuhan luka. Treatment pada lima mencit yang luka dan menderita diabetes terbukti mempercepat penyembuhan, dimana treatment selama 7 hari dan tiap hari ditreatment selama 15 menit 3 mencit lukanya menutup dan 2 mencit lukanya mengering. Hal ini berbeda apabila dibandingkan dengan yang tidak ditreatment dimana 4 mencit lukanya mulai mengering dan 1 mencit lukanya masih kemerahan. Treatment menggunakan stimulasi arus listrik dengan tegangan pulsa 80 volt selama 15 menit sehari membuat luka mengering dan jumlah koloni bakteri mengecil, sehingga akan mempercepat proses penyembuhan.

## **B. Temuan Penelitian**

1. Arus listrik DC minimal yang dapat digunakan untuk menurunkan jumlah bakteri adalah 50 mA,
2. Tegangan listrik berbentuk pulsa minimal yang masih dapat digunakan untuk menurunkan jumlah koloni bakteri adalah 5 volt
3. Lebar pulsa yang dapat digunakan untuk mempercepat penurunan jumlah koloni bakteri adalah 20 $\mu$ s
4. Durasi pulsa listrik 50 $\mu$ s dengan jumlah pulsa 65 perdetik serta tegangan pulsa 80 volt mampu mensterilkan daging dalam waktu 15 menit.

5. Pengobatan luka pada mencit diabetes dengan kadar gula 264 mg/dl sembuh dalam waktu 7 hari terapi.

## **V. KESIMPULAN DAN PENUTUP**

### **A. Kesimpulan**

Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Stimulasi arus listrik menggunakan arus searah dengan tegangan 10 volt akan mengurangi jumlah bakteri lebih optimal dengan menggunakan arus listrik lebih dari 50 mA.
2. Stimulasi arus listrik dalam bentuk pulsa pengurangan jumlah koloni bakteri dapat optimal apabila tegangan listrik yang digunakan lebih besar dari 5 volt.
3. Penambahan frekwensi pulsa pada stimulasi arus listrik akan memperbesar jumlah pengurangan koloni bakteri, akan tetapi semakin besar frekwensi perubahan penurunan yang terjadi akan semakin kecil.
4. Treatment dengan stimulasi arus listrik pada tegangan 10 volt akan mengurangi jumlah bakteri dan dengan pemberian tegangan pulsa 80 volt selama 15 menit setiap hari, selama tiga hari sampel akan kering dan tidak mengandung bakteri.
5. Treatmen menggunakan stimulasi arus listrik dengan tegangan 10 volt dan tegangan pulsa 80 volt serta 15 menit setiap hari membuat luka mencit yang menderita diabetes menutup dalam 7 hari.

### **B. Saran-Saran**

Terkait dengan penelitian ini yang dapat penulis sarankan adalah :

1. Perlu dilakukan penelitian efek stimulasi arus listrik terhadap jaringan disekitarnya



2. Perlu dilakukan pengujian pada luka yang lebih dalam dari mencit yang terkena diabet
3. Perlu diuji pada mencit yang memiliki kadar glukosa yang lebih besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alsaimary, I.E.A, 2010, Bacterial wound infections in diabetic patients and their therapeutic implications, *Medical Practice and Review* Vol. 1(2), pp. 12-15,
- Asadi M. R, dan Torkaman G., 2014, Bacterial Inhibition by Electrical Stimulation, *Advances In Wound Care, Volume 3*,
- De Astis, V., Corbella, A., Bafico, F., Spinelli, E., Porcu, G., Bottari, L., Petrini, M., & Madeddu, V. (2000). Decubitus lesions in patients referred to acute and post-acute home nursing care for the elderly in Genova. *Assist Inferm Ric*, 18, 20-4.
- Dehghani S., Rezaee A., dan Hosseinkhani S., 2018, Effect of alternating electrical current on denitrifying bacteria in a microbial electrochemical system: biofilm viability and ATP assessment, *Environmental Science and Pollution Research*-Springer-Verlag GmbH Germany
- Dreesa, K. P., M. Abbaszadegan, and R. M. Maiera. 2003. Comparative electrochemical inactivation of bacteria and bacteriophage. *Water Res.* 37: 2291–2300
- Diehr P. E., 2014, Physical Origins of Electrical Conductivity and Resistivity, Researchgate
- Gusmão, I.C.C.P., Moraes P.B. and Bidoia E.D., 2010, Studies on the Electrochemical Disinfection of Water Containing *Escherichia coli* using a Dimensionally Stable Anode, *Brazilian Archives Of Biology And Technology* Vol.53, N. 5: Pp. 1235-1244
- Hunckler J. dan Achala de Mel A.,2017, A current affair: electrotherapy in wound healing, *Journal of Multidisciplinary Healthcare* 2017:10 179–194
- Kennedy, E.J. (2000). *Spinal cord injury; the fACTs and figures*.The University at Alabama Press: Birmingham, Alabama.
- Meehan, M. 2000. Beyond the pressure ulcer blame game: reflections for the future. *Ostomy Wound Manage*, 46, 46-52.
- Mirzaii M., Alfi A., Kasaeian A., Norozi P., Nasiri M., Sarokhalil D.D., Khoramrooz S.S., Fazli M., Davardoost F.,2015, Antibacterial effect of alternating current against *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa*, *LLC Science and Innovations, Saratov, Russia, Volume 4. Issue 2*

- Petrofsky, J.S. Schwab, E., Lo, T., Cuneo, M., George, J., Kim, J., dan AlMarty, A.,2005. Effects of Electrical stimulation on Skin Blood Flow in Controls and in and around Stage III and IV Wounds in Hairy and Non Hairy Skin.*Med Sci Monit*, 11, 309 - 316.
- Riyanto dan Agustiningsih W.A.,2018, Electrochemical disinfection of coliform dan Escherichia coli for drinking water treatment by electrolysis method using carbon as an electrode, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 349 (2018) 012053*
- Ruiz-Ruigomez,M., Badiola, J., Schmidt-Malan, S.M., Kerry, Quaintance,G., Karau, M.J., Brinkman,C.L.,Jayawant N. Mandrekar, J.N., and Patel1 R.,2016, *Direct Electrical Current Reduces Bacterial and Yeast Biofilm Formation*, International Journal of Bacteriology
- Senet, P., & Meaume, S. (2000). Decubitus sores in geriatric medicine. Local and general treatment of pressure sores in the aged. *Presse Med*, 28, 1840-5.
- Thakral, G., Javier LaFontaine J., Najafi B., Talal T.K., Kim P., dan Lawrence A. Lavery L.A., , 2013, Electrical stimulation to accelerate wound healing, *Diabetic Foot & Ankle* 2013.
- Ud-Din Sdan Bayat A.,2014, Electrical Stimulation and Cutaneous Wound Healing:A Review of Clinical Evidence, *Healthcare 2014, 2, 445-467*
- Yarkony, G.M. (1999). Pressure ulcers: a review. *Arch Phys Med Rehabil*, 75, 908-17.
- Infodatin, 2018, Hari Diabetes Se Dunia 2018, Pusat Data dan Informasi Kementerian Kesehatan RI