



**PERBEDAAN KERUSAKAN KULIT TIKUS *WISTAR*
AKIBAT PAPARAN ARUS LISTRIK
SECARA LANGSUNG DAN MELALUI MEDIA AIR**

LAPORAN AKHIR PENELITIAN KARYA TULIS ILMIAH

Diajukan untuk memenuhi tugas dan
melengkapi syarat dalam menempuh
Program Pendidikan Sarjana Kedokteran

DISUSUN OLEH:

**LULUK NOVITASARI
NIM: G2A005119**

**FAKULTAS KEDOKTERAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2009**

LEMBAR PERSETUJUAN

**LAPORAN AKHIR PENELITIAN KARYA TULIS ILMIAH
PERBEDAAN KERUSAKAN KULIT TIKUS *WISTAR* AKIBAT PAPARAN
ARUS LISTRIK SECARA LANGSUNG DAN MELALUI MEDIA AIR**

yang disusun oleh :

LULUK NOVITASARI

NIM : G2A005119

Telah dipertahankan di depan tim penguji KTI Fakultas Kedokteran
Universitas Diponegoro Semarang pada tanggal 19 Agustus 2009
dan telah diperbaiki sesuai dengan saran-saran yang diberikan.

TIM PENGUJI

Ketua Penguji,

Penguji,

dr. Ika Pawitra M , M.Kes, Sp.PA
NIP.131875465

dr. Udadi Sadhana , M.Kes, Sp.PA
NIP. 131967650

Pembimbing,

dr.Gatot Suharto, Sp.F, M.Kes, S.H
NIP 131610341

DAFTAR ISI

1. Halaman Judul	i
2. Lembar Persetujuan.....	ii
3. Daftar Isi	iii
4. Daftar Lampiran.....	v
5. Daftar Gambar	vi
6. Daftar Tabel.....	vii
7. Abstrak Bahasa Indonesia.....	viii
8. Abstrak Bahasa Inggris.....	ix
9. BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
10. BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Listrik.....	5
2.1.1 Definisi.....	5
2.1.2 Konduktivitas Listrik	5
2.1.3 Kelistrikan Tubuh	7
2.2 Histofisiologi Kulit.....	9
2.2.1 Histologi Kulit	9
2.2.2 Fisiologi Kulit.....	12

2.3	Trauma Listrik.....	13
2.3.1	Definisi.....	13
2.3.2	Faktor – faktor yang mempengaruhi Trauma Listrik.....	14
2.3.3	Mekanisme Kerusakan Kulit Akibat Sengatan Listrik.....	20
2.3.4	Gambaran Makroskopis Kerusakan Kulit.....	22
2.3.5	Gambaran Mikroskopis Kerusakan Kulit.....	26
2.4	Kerangka Teori.....	28
2.5	Kerangka Konsep	29
2.6	Hipotesis Penelitian	29
11.	BAB III METODE PENELITIAN	30
3.1	Ruang Lingkup Penelitian	30
3.2	Rancangan Penelitian	30
3.3	Populasi dan Sampel	31
3.3.1	Populasi	31
3.3.2	Sampel	31
3.3.2.1	Kriteria Inklusi	31
3.3.2.2	Jumlah Sampel	31
3.3.2.3	Cara Pengambilan Sampel	31
3.4	Variabel Penelitian	32
3.4.1	Variabel Bebas	32
3.4.2	Variabel Tergantung	32
3.5	Alat dan Bahan.....	32

3.5.1	Alat	32
3.5.2	Bahan	33
3.6	Cara Pengumpulan Data.....	33
3.7	Data yang Dikumpulkan.....	35
3.8	Definisi Operasional.....	35
3.9	Alur Kerja.....	36
3.10	Analisa Data	37
12.	BAB IV HASIL PENELITIAN.....	38
13.	BAB V PEMBAHASAN.....	42
14.	BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN.....	45
15.	Daftar Pustaka	46
16.	Lampiran	

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Analisa Statistik

Lampiran 2. Surat Ijin

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Histologi kulit pengecatan HE.....	12
Gambar 2. Box Plot setiap kelompok perlakuan.....	38
Gambar 3. Preparat kulit tikus <i>Wistar</i> kontak langsung dengan listrik.....	40
Gambar 4. Preparat kulit tikus <i>Wistar</i> kontak listrik melalui air.....	41

DAFTAR TABEL

1. Hasil pemeriksaan preparat.....	38
2. Uji Normalitas.....	39
3. Uji <i>Independent t-test</i>	39

**PERBEDAAN KERUSAKAN KULIT TIKUS WISTAR
AKIBAT PAPAN ARUS LISTRIK
SECARA LANGSUNG DAN MELALUI MEDIA AIR**
Luluk Novitasari*, Gatot Suharto**

Abstrak

Latar Belakang: Kematian akibat trauma listrik dari tahun ke tahun semakin meningkat baik karena kontak langsung maupun kontak melalui media air. Tanda utama trauma listrik adalah luka bakar pada kulit. Gambaran makroskopis kerusakan kulit yang kontak langsung dengan sumber listrik bertegangan rendah disebut *electrical mark*. Luka listrik akibat kontak melalui air tidak selalu menunjukkan fenomena yang spesifik seperti pada luka kontak langsung.

Tujuan: Mengetahui perbedaan kerusakan kulit tikus *Wistar* yang diberi aliran listrik secara kontak langsung dan melalui media air.

Metode: Penelitian eksperimental murni dengan rancangan *The Post Test Only Group Design*. Sampel 10 ekor tikus *wistar* dibagi dalam 2 kelompok. Tiap kelompok terdiri 5 ekor tikus *wistar*. Pada kelompok P1 kontak langsung dengan arus listrik sebesar 220 volt dan 100 mA selama 10 detik. Pada kelompok P2 kontak dengan besar arus listrik dan lama waktu sama tetapi arus listrik dialirkan melalui air. Kulit diambil dan kemudian dilakukan pengecatan Hematoksin Eosin. Kerusakan kulit dinilai dari banyaknya sel yang membengkak dalam satu preparat.

Hasil: uji *independent-t test* didapatkan hasil terdapat perbedaan yang bermakna terhadap kerusakan kulit tikus *Wistar* akibat paparan arus listrik secara langsung dan melalui media air ($p = 0,001$).

Kesimpulan: Terdapat perbedaan antara kerusakan kulit tikus *Wistar* akibat paparan arus listrik secara kontak langsung dan melalui media air.

Kata kunci: paparan listrik secara langsung, paparan listrik melalui media air, kerusakan sel kulit.

*Mahasiswa Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro

**Staf Pengajar bagian Forensik Fakultas Kedokteran Universitas Diponegoro

**THE DIFFERENCES OF SKIN DAMAGE AT WISTAR RAT RESULTED BY
EXPOSURE OF DIRECT AND WATER CONDUCTED ELECTRICAL
CURRENT**

Luluk Novitasari*, Gatot Suharto**

Abstract

Background: Death by electrical injury due to by direct and water conducted electrical current increases every years. Special sign of electrocution is skin burns. Macroscopic sign of skin damage contacts directly to low voltage electrical current is called electrical marks. Electrical injury caused by water conducted electrical current is not always show specific phenomenon as direct contact electrocution.

Purpose: To find out the differences of skin damage between Wistar rat resulted by exposure of direct and water conducted electrical current.

Method: This study was pure experimental with post test only group design. Ten Wistar rats as samples were divided into two groups. Each groups consisted of five rats. The skin of all groups contact with 220 volt and 100 mA electrical current for 10 seconds at different type of application, P1 group with direct contact and P2 group with water conducted. The skin of Wistar rats were isolated and stained using Hematoxylin Eosin. The skin damage was measured from the number of swelling cell in one preparat.

Results: Independent t-test shows a significant difference between skin damage in Wistar rats resulted by exposure of direct and water conducted electrical current ($p=0,001$).

Conclusion: There is a difference of skin damage in Wistar rats resulted by exposure of direct and water conducted electrical current.

Keyword: direct electrical current, water conducted electrical current, skin cell damage.

* Undergraduate student of Medical Faculty Diponegoro University

** Academic staff of Forensic Departement of Medical Faculty of Diponegoro University

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 LATAR BELAKANG

Trauma sengatan listrik adalah kerusakan yang disebabkan oleh adanya aliran arus listrik yang melewati tubuh manusia dan membakar jaringan ataupun menyebabkan terganggunya fungsi organ.¹ Beberapa faktor yang mempengaruhi berat ringannya luka listrik antara lain kuat arus listrik (ampere), tahanan (ohm), tegangan (Volt), lama kontak, jenis sirkuit, frekuensi, jalur arus listrik serta luas permukaan.^{1,2,3,4}

Kasus kematian akibat trauma listrik dari tahun ke tahun semakin meningkat karena meningkatnya penggunaan alat – alat listrik.⁵ Kejadian ini bisa terjadi karena kontak langsung maupun kontak melalui media air seperti kejadian di kamar mandi dan di kolam renang.⁶

Pada umumnya tanda utama trauma listrik adalah luka bakar pada kulit. Gambaran makroskopis kerusakan kulit yang kontak langsung dengan sumber listrik bertegangan rendah disebut *electrical mark*. Dalam studi kasus kematian, hanya sekitar 55% yang menunjukkan *electrical mark*.² Luka listrik biasanya dapat diamati di titik masuk (*entry point*) maupun titik keluar (*exit point*).^{5,6,1}

Luka listrik akibat kontak melalui air tidak selalu menunjukkan tanda spesifik.^{1,2} Hal ini dikarenakan bila terkena air tahanan tubuh menjadi rendah sehingga jumlah produksi panas oleh listrik tidak cukup untuk meningkatkan suhu

sampai titik lepuh.⁷ Selain itu aliran arus listrik dalam air akan menjadi lambat karena air mempunyai tahanan terhadap arus listrik. Tetapi air yang dialiri arus listrik tegangan tinggi dalam waktu cukup lama suhunya akan meningkat. Peningkatan suhu air dalam beberapa saat dapat melukai kulit.⁸

Penelitian di air pernah dilakukan oleh Lestari (2008) yang meneliti hubungan lama paparan arus listrik bolak-balik terhadap kerusakan otot. Hasilnya terjadi kerusakan otot yang bermakna secara mikroskopis.⁸ Hal ini membuktikan bahwa walaupun arus listrik melalui air masih ada kerusakan yang terjadi pada jaringan tubuh.

Penelitian ini memilih organ kulit sebagai obyek penelitian karena kulit adalah tahanan tubuh utama terhadap arus listrik. Kulit mempunyai tahanan yang cukup tinggi daripada organ dalam sehingga gambaran kerusakan jaringan akibat sengatan listrik secara kontak langsung paling mudah diamati di kulit.^{1,5,9}

Penelitian ini tidak dapat dilakukan pada manusia sebagaimana lazimnya, maka penelitian ini dilakukan pada hewan coba yaitu tikus karena tikus homolog dengan manusia dan tikus dapat dimanipulasi dengan berbagai cara yang tidak pantas dilakukan pada manusia. Tikus yang paling sering dipakai untuk penelitian laboratorinya adalah tikus *Wistar*.¹⁰

I.2 RUMUSAN MASALAH

Apakah terdapat perbedaan kerusakan kulit tikus *Wistar* akibat paparan arus listrik secara kontak langsung dan melalui media air ?

I.3 TUJUAN PENELITIAN

1.3.1 Tujuan Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan kerusakan kulit tikus *Wistar* akibat paparan arus listrik secara kontak langsung dan melalui media air.

1.3.2 Tujuan Khusus

- a. Menilai kerusakan kulit tikus *Wistar* yang diberi kuat arus listrik sebesar 100 mA, tegangan 220 V dan frekuensi 50 Hz secara kontak langsung selama 10 detik.
- b. Menilai kerusakan kulit tikus *Wistar* yang diberi kuat arus listrik sebesar 100 mA, tegangan 220 V dan frekuensi 50 Hz melalui media penghantar air selama 10 detik.
- c. Menilai perbedaan kerusakan kulit tikus *Wistar* yang diberi kuat arus listrik sebesar 100 mA, tegangan 220 V dan frekuensi 50 Hz secara kontak langsung dan melalui media penghantar air selama 10 detik.

I.4 MANFAAT PENELITIAN

Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan informasi bagi:

- a. Peneliti lain mengenai perbedaan kerusakan kulit tikus *Wistar* karena arus listrik bolak balik secara kontak langsung dan melalui air dengan kuat arus, tegangan dan lama paparan yang sama.

- b. Sebagai tambahan informasi untuk penelitian–penelitian selanjutnya sehubungan dengan tanda spesifik atau tidaknya kematian akibat arus listrik dalam ruang lingkup kedokteran forensik.
- c. Sebagai tambahan informasi bagi identifikasi korban trauma sengatan listrik dalam lingkup kedokteran forensik di Indonesia.
- d. Sebagai tambahan informasi dalam mengidentifikasi kronologi kematian akibat sengatan listrik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 LISTRIK

2.1.1 Definisi

Listrik merupakan aliran elektron dari satu atom ke atom lainnya. Pergerakan elektron sama seperti air yang mengalir di sepanjang sungai.¹¹ Arah arus listrik mengalir dari kutub positif melalui rangkaian listrik ke kutub negatif. Pada bahan logam, elektron bebas berpindah dari satu atom ke atom logam berikutnya. Sedangkan pada bahan air, elektron dibawa oleh elektrolit melewati medium air. Timbulnya gerakan elektron tersebut karena adanya beda potensial antara dua ujung penghantar.¹²

2.1.2 Konduktivitas Listrik

Daya konduksi suatu unsur digambarkan sebagai kemampuan atau kekuatan untuk memancarkan atau menghantarkan panas, listrik, atau bunyi. Satuannya adalah Siemens per meter [S/M] di (dalam) SI dan micromhos per centimeter [mmho/cm] di Amerika. Konduktivitas listrik adalah kemampuan untuk menghantarkan listrik sebagai hasil perpindahan elektron antar partikel. Daya konduksi listrik merupakan perbandingan antara kerapatan arus dan kuat medan elektrik dan berbanding terbalik dengan daya hambat (resistensi).¹²

Pada umumnya logam merupakan konduktor yang baik karena mempunyai banyak elektron bebas yang mudah berpindah dan menghasilkan energi listrik.

Perak merupakan logam yang mempunyai daya konduksi paling tinggi dari beberapa logam lain, daya konduksinya : 63×10^6 S/M. Kuat arus yang mengalir melalui konduktor logam berbanding lurus dengan luas penampangnya dan berbanding terbalik dengan panjangnya.¹²

Air murni merupakan konduktor yang tidak baik. Konduktivitasnya rendah tetapi tidak sampai nol.¹³ Jenis-jenis konduktivitas air antara lain :air murni 5.5×10^{-6} S/m ; air minum 0.005 – 0.05 S/m ; air laut 5 S/m. Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa konduktivitas air tergantung pada kadar elektrolit dalam air. Semakin tinggi kadar elektrolitnya (air laut) semakin besar konduktivitasnya.^{12,13}

Truman S. Light berdasar penelitiannya tahun 2004 menyatakan bahwa konduktivitas air tergantung pada temperatur air tersebut. Semakin tinggi suhu zat cair,maka akan semakin rendah kemampuannya dalam menghantarkan arus listrik.Hal ini dipengaruhi oleh ion Hidrogen (H^+) dan ion Hydroxide (OH^-) Peningkatan suhu akan mengakibatkan hambatan mobilitas ion-ion tersebut. Dari penelitian ditemukan bahwa setiap kenaikan suhu $1^\circ C$, maka akan terjadi penurunan hantaran listrik kurang lebih 2% (dengan batas rentang 1% - 3%). Selain itu dengan meningkatnya temperatur air daya hambat (resistensi) air akan meningkat.¹³

2.1.3 Kelistrikan Tubuh

2.1.3.1 Hukum Biolistrik

Ada 2 aspek kelistrikan dan kemagnetan yang penting dalam bidang kedokteran yaitu listrik dan magnet yang ada dalam tubuh manusia dan

magnet dan listrik yang digunakan pada permukaan tubuh manusia.¹⁴ Ada beberapa hukum yang berkaitan dengan biolistrik antara lain :

1. Hukum **OHM**: ” *perbedaan potensial antara ujung konduktor berbanding langsung dengan arus yang melewati dan berbanding terbalik dengan tahanan konduktor*”

$$V = I.R$$

R: tahanan (Ω)

I: kuat arus (A)

V: tegangan (Volt)

2. Hukum **Joule**: ” *arus listrik yang melewati konduktor dengan perbedaan tegangan dalam waktu tertentu akan menimbulkan panas*”

$$E = V.I.t$$

E: energi (Joule)

I : kuat arus (A)

V: tegangan (Volt)

t : waktu (detik)

2.1.3.2 Kelistrikan Sel

Pada dasarnya di seluruh sel tubuh terdapat potensial listrik yang melintasi membran. Untuk sel saraf dan sel otot bersifat dapat dirangsang sehingga mampu membangkitkan sendiri impuls elektrokimia pada membrannya. Pada beberapa keadaan, impuls ini dapat digunakan untuk menghantarkan sinyal sepanjang membran. Sedangkan untuk sel kelenjar, makrofag, dan sel bersilia, perubahan jenis lain pada potensial membran mempunyai peran yang penting dalam pengaturan banyak fungsi sel.^{14,15}

Sel mempunyai lapisan yang disebut membran sel, di dalam sel ini terdapat ion Na^+ , K^+ , Cl^- dan protein. Sel mempunyai kemampuan memindahkan ion dari satu sisi ke sisi yang lain yang disebut aktifitas kelistrikan sel. Ion K^+ akan melakukan difusi dari konsentrasi tinggi ke konsentrasi rendah sehingga pada saat tertentu akan terjadi membran dipole/membran dua kutub di mana larutan dengan konsentrasi yang tadinya rendah akan kelebihan ion positif, berlawanan dengan larutan yang konsentrasi tinggi akan berubah menjadi kekurangan ion sehingga menjadi lebih negatif. Membran permeabel biasanya permeabel terhadap ion Na^+ , K^+ , dan Cl^- sedangkan terhadap protein besar sangat tidak permeabel.¹⁴

Pada sel tubuh terdapat potensial listrik yang melintasi membran. Pada ekstrasel mengandung lebih banyak ion Na^+ dan sedikit ion K^+ . Pada intraseluler sebaliknya yaitu banyak ion K^+ dan sedikit ion Na^+ .¹⁴

Dalam keadaan biasa di dalam membran sel akan lebih negatif dibandingkan dengan di luar sel karena ion Na^+ lebih besar di luar sel daripada di dalam sel. Pada keadaan demikian disebut potensial membran negatif. Potensial membran sel normal dalam keadaan istirahat yang diukur dengan galvanometer akan mencapai -90 mV .^{14,15}

2.2 HISTOFISIOLOGI KULIT

2.2.1 Histologi Kulit^{16,17,18}

Kulit terdiri atas dua lapisan utama, epitel permukaan disebut epidermis dan lapisan jaringan ikat di bawahnya, dermis (korium).

1. Lapisan Epidermis (kutikel)

Merupakan lapisan yang terdiri dari epitel skuamus kompleks berkeratin. Ketebalan epidermis bervariasi dari 0,07 sampai 0,12 mm, namun dapat mencapai ketebalan 0,8 mm pada telapak tangan dan 1,4 mm pada telapak kaki. Epidermis terdiri dari 5 lapisan dari atas ke bawah yaitu :

- a) Stratum korneum (lapisan tanduk) merupakan lapisan terluar dan terdiri atas 15 – 20 lapisan sel. Keratin tersusun tidak teratur sedangkan serabut elastis dan retikulernya lebih sedikit.
- b) Stratum lusidum terdapat langsung di bawah lapisan korneum. Tidak jelas terlihat dan bila terlihat berupa lapisan tipis yang homogen, terang, jernih, dan afinitasnya terhadap bahan warna kecil, inti dan batas sel tak terlihat. Lapisan ini tampak lebih jelas di telapak tangan dan kaki dan lapisan ini terdiri dari protein eleidin.
- c) Stratum Granulosum (lapisan keratohialin) terdiri dari 2 – 4 lapis sel skuamus yang rapat dan berbentuk polihedral rendah atau belah ketupat pipih, dan sejajar sumbu panjang permukaan kulit. Sitoplasma berbutir kasar keratohialin (skleroprotein) dan terdapat inti diantaranya. Kearah permukaan, inti sel – sel pecah , larut. Lapisan ini juga tampak jelas pada telapak tangan dan kaki.
- d) Stratum Spinosum (stratum Malphigi) tersusun beberapa lapis sel di atas stratum basale. Sel lapisan ini berbentuk polihedral dengan inti bulat / lonjong. Pada sajian mikroskop biasa tampak mempunyai

tonjolan sehingga tampak seperti duri yang disebut “prickle cell / spina “dan terlihat saling berhubungan dan di dalamnya terdapat fibril (tonofibril) sebagai “ intercellular Bridge “. Pada tonofibril tidak berjalan di dalam jembatan antar sel dan berakhir pada pertemuan protoplasma “ Desmosome “. Pada lapisan ini terjadi mitosis dan terdapat pigmen melanin.

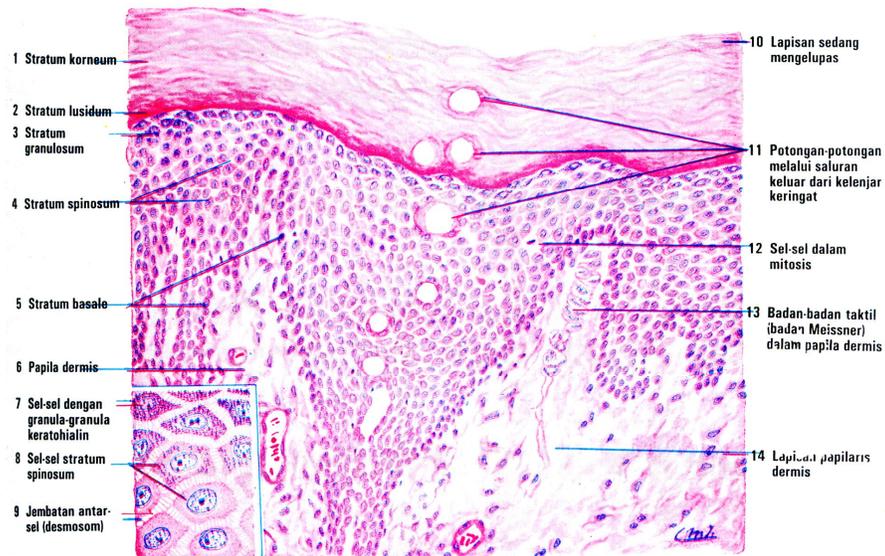
e) Stratum Basale (stratum germinativum / stratum silindrikum / stratum pigmentosum) tersusun dari selapis sel – sel pigmen basal, berbentuk silindris, batas kurang jelas, inti berbentuk lonjong dan dalam sitoplasmanya terdapat melanin. Pada lapisan basale ini terdapat sel – sel mitosis dan berfungsi reproduktif. Lapisan ini terdiri atas dua jenis sel yaitu

1. Sel – sel berbentuk kolumnar dengan protoplasma basofilik inti lonjong dan besar, dihubungkan satu dengan yang lain oleh jembatan antar sel.
2. Sel pembentuk melanin (melanosit) atau *clear cell* merupakan sel – sel berwarna muda, dengan sitoplasma basofilik dan inti gelap dan mengandung butir pigmen (*melanosomes*).

2. Lapisan dermis

Tebal lapisan ini sekitar 0,6 mm pada kulit tipis dan sampai 3 mm atau lebih pada telapak tangan dan kaki sedangkan ketebalan rata – rata sekitar 2 mm. Lapisan ini terdiri atas 2 lapisan,yaitu :

- a. Stratum Papillare (stratum Spongiosum) merupakan bagian yang menonjol ke epidermis, berisi ujung serabut saraf dan pembuluh darah. Lapisan ini terdiri atas fibroblas dan jenis sel jaringan ikat lain, tersebar luas antara berkas – berkas serat kolagen halus terutama kolagen tipe III.
- b. Stratum Retikulare (stratum kompakum) merupakan bagian yang menonjol ke arah subkutan. Lebih tebal dibanding stratum papillare. Lapisan ini terdiri atas serabut – serabut penunjang misalnya serabut kolagen, elastin, dan retikulin. Dasar (matriks) lapisan ini terdiri atas cairan kental asam hialuronat dan kondroitin sulfat, di bagian ini terdapat pula fibroblas. Serabut kolagen dibentuk oleh fibroblas, membentuk ikatan (bundel) yang mengandung hidroksi prolin dan hidroksisilin. Kolagen muda bersifat lentur dengan bertambah umur menjadi kurang larut sehingga makin stabil. Retikulin mirip kolagen muda. Serabut elastin biasanya bergelombang, berbentuk amorf dan mudah mengembang serta lebih elastis. Gambar histologi kulit tersebut dapat dilihat di bawah ini.



Gambar 1. Histologi kulit pengecatan HE (dikutip dari ATLAS Histologi di Fiore)

2.2.2 Fisiologi Kulit ^{16,17}

Kulit mempunyai beberapa fungsi utama antara lain :

- 1) Fungsi Proteksi, kulit menjaga bagian dalam tubuh terhadap gangguan fisis atau mekanis, gangguan yang bersifat panas, dan gangguan infeksi luar. Proses keratinisasi dari protein keratin merupakan salah satu mekanisme *barrier* karena sel – sel mati melepaskan diri secara teratur.
- 2) Fungsi Absorpsi, kemampuan absorpsi ini dipengaruhi oleh tebal tipisnya kulit, hidrasi, kelembaban, metabolisme dan jenis vesikulum.
- 3) Fungsi ekskresi, kelenjar – kelenjar kulit mengeluarkan zat – zat yang tidak berguna lagi atau sisa metabolisme dalam tubuh berupa NaCl, urea, asam urat, dan amonia.

- 4) Fungsi persepsi, kulit mengandung ujung saraf sensorik di dermis dan subkutis. Salah satu contohnya terhadap rangsangan panas diperankan oleh badan Ruffini di dermis dan subkutis.
- 5) Fungsi pengaturan suhu tubuh (termoregulasi), kulit melakukan peranan ini dengan cara mengeluarkan keringat dan mengerutkan (otot berkontraksi) pembuluh darah kulit.
- 6) Fungsi pembentukan pigmen, sel pembentuk pigmen (melanosit), terletak di lapisan basal dan sel ini berasal dari rigi saraf.
- 7) Fungsi keratinisasi, lapisan epidermis mempunyai 3 jenis sel utama yaitu keratinosit, sel langerhans, melanosit.
- 8) Fungsi pembentukan vitamin D, dimungkinkan dengan mengubah 7 dihidroksi kolesterol dengan pertolongan sinar matahari.

2.3 TRAUMA LISTRIK

2.3.1 Definisi

Trauma listrik adalah kekerasan atas jaringan tubuh yang masih hidup yang disebabkan oleh adanya aliran arus listrik yang melewati tubuh manusia dan membakar jaringan ataupun menyebabkan terganggunya fungsi organ dalam dan jaringan lunak, aritmia jantung, gagal nafas, bahkan kematian.^{3,19,20}

2.3.2 Faktor – faktor yang mempengaruhi Trauma Listrik

Terjadinya luka akibat segatan listrik dipengaruhi oleh faktor - faktor, antara lain:

1. Jenis sirkuit

Berdasarkan tipe sirkuit dapat dibagi menjadi arus listrik searah (DC) dan arus listrik bolak-balik (AC). Arus searah (DC) kurang berbahaya dibanding arus bolak-balik (AC); arus dari 50-80 mA AC dapat mematikan dalam hitungan detik, sedangkan 250 mA DC dalam waktu yang sama sering dapat selamat sebab pada tegangan yang sama arus AC empat sampai enam kali lebih berbahaya dibandingkan arus DC. Hal ini terjadi karena pada arus DC menyebabkan kontraksi tunggal pada otot sehingga korban mudah melepaskan diri dari sumber listrik sedangkan AC menimbulkan kontraksi otot yang berulang-ulang dan tetani yang menyebabkan korban kesulitan melepaskan diri dari sumber listrik.^{1,5} Hal tersebut dapat timbul pada aliran 40-110 siklus per detik. Selain itu arus bolak-balik lebih dapat menyebabkan aritmia jantung dibanding arus searah. Arus dari AC pada 100 mA dalam seperlima detik dapat menyebabkan fibrilasi ventrikel dan henti jantung. Ampere tinggi DC (di atas 4 A) dapat menyebabkan jantung aritmia kembali pada sinus ritmik seperti pada defibrilasi medis.^{1,21}

2. Arus (I)

Derajat kerusakan jaringan sebanding dengan jumlah listrik yang mengalir melaluinya. Jumlah ini terlihat pada jumlah elektron per unit waktu dan diukur dalam 'Coulombs', yang mana merupakan hasil dari ampere dan detik, meski ampere biasanya diterima sebagai indeks dari aliran arus. Menurut Hukum Ohm, arus tergantung pada tegangan, tahanan jaringan dan untuk kerusakan jaringan diperlukan waktu untuk arus mengalir.¹

Dalam patologi forensik, kebanyakan kematian adalah hasil dari disritmia jantung, pengukuran paling penting dari arus adalah yang mengakibatkan gagal jantung akut. Arus 50-80 mA yang melewati jantung lebih dari beberapa detik dapat menyebabkan kematian. Yang masih dapat ditoleransi adalah 30 mA pada tangan menyebabkan kontraksi otot yang menyakitkan. Kehilangan kesadaran pada 40 mA dan arus yang terus menerus untuk beberapa detik lebih besar dari 50-80 mA menyebabkan risiko kematian.¹ Dampak arus listrik yang mengalir pada tubuh menurut Cooper antara lain :

- a. 1 – 2 mA sensasi geli “ tingling “
- b. 3 – 5 mA Arus “Let Go” untuk anak – anak
- c. 6 – 8 mA Arus “Let Go” untuk wanita
- d. 7 – 9 mA Arus “Let Go” untuk laki – laki
- e. 10 -20 mA Tetani otot skelet
- f. 20 – 50 mA paralysis otot respirasi (respiratory arrest)
- g. 50 – 100 mA Fibrilasi Ventrikel

3. Tegangan atau voltase (V)

Kerusakan jaringan akibat sengatan listrik secara konvensional berdasar tegangan dibagi menjadi voltase rendah (tegangan rumah tangga) dan voltase tinggi yang menggunakan 1000 V sebagai batas pembagian yang paling umum. Tegangan tinggi mengakibatkan arus listrik yang lebih besar, oleh karena itu potensinya lebih besar menyebabkan kerusakan jaringan.^{5,22}

Kematian orang yang terkena arus listrik bertegangan rendah berbeda dengan yang bertegangan tinggi, dimana pada yang pertama kematian disebabkan oleh fibrilasi ventrikel, sedangkan yang kedua biasanya karena luka bakar / panas.²⁰ Tegangan yang sangat tinggi, dapat secara paradoks lebih aman pada beberapa situasi. Karena syok dapat mementalakan subyek dari konduktor, sehingga mengurangi waktu kontak di bawah ambang kerusakan jantung.¹

4. Tahanan (R)

Tahanan (resistensi) listrik merupakan kemampuan untuk menghalangi arus listrik. Tubuh mempunyai tahanan terhadap arus listrik yang melaluinya dan tahanan ini berbeda – beda pada tiap bagian tubuh. Berdasarkan besarnya resistensinya terhadap listrik tubuh dibagi menjadi tiga bagian : 1) Tahanan rendah : saraf, darah, membran mukosa, otot ; 2) Tahanan menengah : kulit kering, jaringan lemak, tendon ; 3) Tahanan tinggi : tulang.⁵

Berdasar besarnya tahanan kulit mempunyai tahanan menengah tetapi kulit merupakan tahanan utama tubuh terhadap sengatan listrik karena sebelum memasuki organ yang lebih dalam arus listrik harus melalui kulit terlebih dahulu.⁵ Tahanan kulit bervariasi, tergantung dari tebalnya lapisan keratin pada epidermis, dimana pada telapak kaki dan ujung jari lebih tebal dari kulit tipis dimanapun. Tahanan rata-rata adalah antara 500-10.00 ohm selain tangan dan telapak kaki yang memiliki tahanan 1 juta ohm ketika kering.¹

Faktor yang lebih potensial adalah kekeringan atau kelembaban kulit, yang berefek sangat besar terhadap tahanan. Ketika kulit telapak tangan kering, memiliki tahanan 1 juta ohm, ketika basah akan turun menjadi hanya 1200 ohm. Jellinek menemukan kulit tebal dari pekerja memiliki tahanan 1 sampai 2 juta ohm, Jaffe menyatakan bahwa berkeringat dapat menurunkan tahanan kulit dari 3000 sampai 2500 ohm.^{1,5}

Resistensi Jaringan (ohms/cm²)

Membran mukosa 100

Lengan volar, paha bagian dalam 300 – 10,000

Kulit kering 5,000

Kulit Basah

- a. kamar mandi 1,200 – 1,500
- b. Berkeringat 2,500
- c. Kulit lain 10,000 – 40,000
- d. Telapak kaki 100,000 – 200,000
- e. *Heavily calloused palm* 1,000,000 – 2,000,000

Makin tinggi resistensi dapat menyebabkan jumlah energi yang dikeluarkan pada permukaan kulit sebagai arus bakar yang menyebabkan luka termal pada kulit tetapi kerusakan organ internal yang minimal.

5. Frekuensi

Kematian tertinggi akibat trauma listrik terjadi pada aliran 39-150 siklus per detik³ Berdasarkan hasil penelitian Dalziel menyebutkan bahwa

frekuensi 50 – 60 Hz merupakan arus *let go* minimum. Arus AC dengan frekuensi 50 Hz, mampu : 1) Merangsang saraf sensoris ; 2) Merangsang saraf motoris; 3) Berefek kontraksi otot. Frekuensi listrik di bawah 10 Hz menyebabkan arus *let go* akan meningkat dan otot – otot akan terjadi relaksasi sebagian, sedangkan di atas 100 Hz arus *let go* akan meningkat juga, dan otot – otot mengalami *strenght duration trade off* serta refrakter jaringan yang telah mengalami eksitasi.¹⁴

6. Durasi atau waktu kontak

Nilai ambang fibrilasi semakin menurun bila waktu semakin besar. Waktu lamanya seseorang kontak dengan benda yang beraliran listrik menentukan kecepatan datangnya kematian. Semakin tinggi arus listrik maka waktu kematian pun semakin cepat. Semakin lama terkena listrik semakin banyak jaringan yang mengalami kerusakan.¹

7. Jalur arus listrik

Jalur arus listrik menentukan resiko jaringan, jenis luka yang terlihat dan derajat konversi energi listrik ke panas. Jika arus listrik melalui jantung atau thorax maka dapat menyebabkan disritmia jantung dan kerusakan miokardium secara langsung. Arus yang melalui otak dapat menyebabkan *respiratory arrest*, kejang dan paralisis. Arus yang melalui mata bisa menyebabkan katarak. Arus yang melalui badan bisa menyebabkan kerusakan yang minimal jika hanya melalui satu jari.^{11,20}

Densitas arus listrik meningkat, kecenderungan untuk mengalir melalui jaringan dengan resistensi rendah menjadi lemah. Akhirnya, arus listrik akan mengalir melalui jaringan dengan tidak teratur, seolah-olah tubuh merupakan konduktor, dengan potensi untuk menghancurkan seluruh jaringan pada jalur arus listrik. Karena arus listrik biasanya terpusat pada sumber dan lantai titik kontak, derajat kerusakan terbesar selalu diobservasi di sini. Akan tetapi, destruksi ekstensif ke jaringan dalam mungkin ada antara lokasi luka tegangan tinggi dan dengan permukaan dan selalu merupakan fenomena “puncak gunung es”. Kerusakan organ internal bisa berupa titik-titik, dengan area jaringan normal bersebelahan dengan jaringan terbakar dan kerusakan terhadap struktur pada tempat jauh dari titik kontak yang jelas.^{11,22}

8. Jenis kelamin

Tahun 1973 Dalziel melakukan penelitian tentang nilai ambang persepsi (arus minimum yang dapat dideteksi) dan *let go current* (arus yang dapat menyebabkan tarikan tangan kembali) yang ditunjukkan oleh distribusi Gaussian yang menyatakan bahwa rata-rata nilai ambang persepsi (*threshold of perception*) untuk laki-laki 1,1 mA sedangkan untuk wanita 0,7 mA, minimum nilai ambang persepsi adalah 500 mikro ampere. Selain itu rata-rata *let go current* untuk laki-laki 16 mA, untuk wanita 10,5 mA. Minimum *let go current* untuk laki-laki 9,5 mA, untuk wanita 6 mA.¹⁴

9. Berat Badan

Dari hasil penelitian terhadap binatang oleh Ferris (1936) dan Kiselev (1963) menunjukkan nilai ambang fibrilasi akan meningkat dengan meningkatnya berat badan. Hal ini diramalkan berlaku pula bagi manusia.¹⁴

2.3.3 Mekanisme Kerusakan Kulit Akibat Sengatan Listrik

Kerusakan kulit yang utama karena sengatan listrik adalah luka bakar. Ada empat mekanisme yang menyebabkan timbulnya luka bakar pada kulit akibat listrik yaitu 1) pemanasan *electrothermal* (*electrothermal burn*) merupakan pola klasik akibat kontak langsung dengan konduktor, luka bakar terlihat pada titik masuk dan titik keluar arus listrik, 2) Lengkung elektrik adalah suatu percikan arus listrik yang timbul diantara dua permukaan objek yang tidak bersentuhan memiliki beda potensial yang sangat besar, biasanya pada sumber arus tegangan tinggi dengan *ground*. Karena besarnya perbedaan potensial ini, dapat timbul panas sampai temperatur 2500°C. Panas ini dapat menimbulkan luka bakar yang sangat hebat pada titik kontak dengan kulit, 3) Nyala api karena percikan api yang dihasilkan oleh listrik mengenai pakaian, dan 4) Arus listrik akibat Petir.²² Dari keempat mekanisme diatas dapat dilihat bahwa penyebab kerusakan kulit adalah perubahan energi listrik menjadi panas. Energi listrik ini berubah menjadi panas karena kulit mempunyai tahanan yang cukup tinggi. Perubahan energi listrik menjadi energi panas ini menyebabkan luka bakar (*electrical burn*) yang ditandai dengan kerusakan jaringan yang berat dan nekrosis koagulasi.^{8,23} Lapisan kulit yang terkena panas akan mengalami pemisahan lapisan epidermis dengan lapisan dermis yang akhirnya timbul luka lepuh.¹

Sel kulit yang terkena panas akan mengalami kerusakan. Parahnya kerusakan tergantung pada besarnya energi panas. Jika energi panas kecil maka sel kulit hanya mengalami kerusakan sel yang reversibel. Secara potensial perubahan-perubahan sublethal ini yang dikenal sebagai perubahan degeneratif. Dua gambaran perubahan seluler sublethal yang umum terlihat ialah perubahan hidrofik dan perubahan lemak. Sedangkan bila energi panas denaturasi protein termasuk protein enzim yang akhirnya sel mengalami nekrosis koagulatifa.²³ Walaupun perubahan-perubahan lisis yang terjadi dalam jaringan nekrotik dapat melibatkan sitoplasma sel, intilah yang paling jelas menunjukkan perubahan-perubahan kematian sel. Biasanya inti sel yang mati akan melisut, batasnya tidak teratur, dan berwarna gelap dengan zat warna yang biasa digunakan ahli patologi. Proses ini dinamakan piknosis, dan inti sel disebut piknotik. Kemungkinan lain, inti dapat hancur, dan meninggalkan pecahan-pecahan zat kromatin yang tersebar di dalam sel. Proses ini disebut karioreksis. Akhirnya, pada beberapa keadaan, inti sel yang mati kehilangan kemampuan untuk diwarnai dan menghilang begitu saja, proses ini disebut kariolisis.²⁴

Di maio menyatakan bahwa luka bakar listrik terjadi pada semua kasus trauma listrik voltase tinggi tetapi hanya sekitar 50% terjadi pada voltase rendah.⁶ Jenis lesi yang paling parah terjadi pada kasus dimana objek merupakan bagian dari lengkung elektrik (*electric arc*).²²

2.3.4 Gambaran Makroskopis Kerusakan Kulit

Kulit merupakan resistor primer terhadap aliran arus listrik dalam tubuh. Resistensi kulit yang pertama adalah stratum korneum yang berperan sebagai isolator

arus 50 volt selama 6-7 detik mengakibatkan timbulnya lepuh pada area yang resistensinya terganggu.

Gambaran makroskopis kerusakan kulit akibat sengatan listrik tergantung pada beberapa hal antara lain :

1. Kelembaban dan luas permukaan kulit yang kontak dengan konduktor

Kelembaban kulit berkaitan dengan tahanan kulit seperti dijelaskan di atas. Semakin lembab kulit maka tahanannya menjadi semakin kecil. Makin tinggi tahanan dapat menyebabkan jumlah energi yang dikeluarkan pada permukaan kulit sebagai panas yang menyebabkan luka bakar pada kulit tetapi kerusakan organ internal yang minimal. Tetapi kerusakan organ internal akan lebih parah jika konduktor kontak langsung dengan kulit yang lembab. Jadi gambaran luka bakar lebih jelas terlihat jika konduktor kontak langsung pada kulit dalam keadaan kering (tahanan tinggi) daripada kulit dalam keadaan lembab (tahanan rendah).^{5,8}

Luas Permukaan berbanding lurus dengan tahanan konduktor. Sehingga semakin luas (tahanan tinggi) daerah kulit yang kontak langsung dengan konduktor kerusakan lebih ringan dari pada luas kontak yang sempit. Di Maio mengatakan jika arus listrik masuk melalui area yang luas di permukaan tubuh maka luka bakar yang khas dan bisa dibedakan satu sama lain tidak akan kita temukan.⁶

2. Ketebalan kulit

Beragam – ragam histomorfologi alami kulit dengan perbedaan ketebalan lapisan tanduk (stratum korneum) pada lapisan epidermis dan kandungan fibroblas (pembentuk serabut kolagen) pada lapisan dermis mempengaruhi gambaran kerusakan kulit. Gambaran kerusakan kulit tampak jelas pada telapak tangan dan telapak kaki karena mempunyai lapisan tanduk yang tebal dan kandungan fibroblas yang tinggi.²⁵ Selain itu ketebalan kulit juga berhubungan dengan besar tahanan listrik, sedangkan tahanan listrik juga berpengaruh pada gambaran kerusakan kulit.^{1,3,5}

3. Tegangan konduktor listrik

Sengatan oleh benda bermuatan listrik dapat menimbulkan luka bakar akibat berubahnya energi listrik menjadi panas. Sesuai dengan hukum Ohm yang menyebutkan bahwa energi panas yang dihasilkan dari listrik sama dengan I^2R . Dengan demikian maka produksi panas berbanding langsung dengan kuadrat intensitas listrik dan resistensi listrik. Sehingga efek luka bakar yang paling besar terjadi pada bagian tubuh yang paling besar resistensinya (kulit). Selain itu yang mempengaruhi berat ringannya luka adalah besarnya tegangan.^{1,5,14}

Luka yang disebabkan dari listrik bertegangan rendah (<1000 V) dapat berupa reaksi eritema atau dapat juga berupa daerah pucat dengan tepi agak menonjol dengan seperti kawah di bagian tengahnya, dan di sekitarnya terdapat area hiperemis akibat pelebaran pembuluh darah, inilah yang

disebut dengan *electrical mark* yang biasanya ditemukan pada tempat arus listrik masuk. Hal ini terjadi karena kulit kontak erat dengan konduktor listrik, maka aliran listrik yang melaluinya memanaskan cairan jaringan dan menghasilkan uap. Uap tersebut dapat memisahkan lapisan epidermis atau dermo-epidermal junction dan terbentuk lepuh yang menonjol ke permukaan kulit. Bila lepuh menjadi dingin dan kolaps maka terbentuk gambaran seperti cincin berwarna kelabu atau putih yang tepinya meninggi dan tengahnya cekung. Di sekeliling lepuh dikelilingi oleh daerah hiperemis, kemudian di sebelah luar dikelilingi oleh berturut-turut daerah pucat akibat spasme arteriol dan daerah hiperemis lagi.^{1,20,22}

Listrik dengan tegangan tinggi (>1000 V) akan menyebabkan luka bakar yang lebih berat (derajat 3 – 4). Luka akibat tegangan listrik tinggi ini disebut *exogenous burn* dimana selain arus listriknya juga karena energi panas yang dikandungnya, misalnya pada listrik tegangan 330 Volt. Tubuh korban akan hangus terbakar, tak jarang disertai dengan patah tulang.⁹

Klasifikasi luka bakar menurut forensik:

a) Derajat I : Eritema

Luka bakar hanya mengenai lapisan epidermis, kulit hiperemik (eritema).

b) Derajat II : Vesikel atau bulla

Partial thickness burn (luka bakar parsial). Artinya luka bakar mengenai sebagian dari ketebalan kulit (epidermis dan sebagian

dermis).Terjadi reaksi eksudasi dengan terbentuknya vesikel atau bulla.

c) Derajat III : Nekrosis koagulatif

Full thickness burn. Luka bakar mengenai seluruh ketebalan kulit(epidermis dan dermis)

d) Derajat IV : Karbonisasi

Selain itu pada listrik tegangan tinggi terjadi loncatan listrik hingga beberapa sentimeter yang dapat menyebabkan *spark lesion* yang multipel sehingga terlihat seperti kulit buaya yang disebut *Crocodile skin effect*. *Spark lesion* (lesi yang berbentuk luka api)merupakan gambaran nodul berwarna kecoklatan yang keras. Hal ini disebabkan karena proses pendinginan luka lepuh yang permukaanya dilapisi keratin akibat loncatan listrik.^{5,26}

4. Lama Kontak dengan konduktor listrik

Bila kontak dengan sumber listrik dalam waktu cukup lama akan terjadi *Joule burn* atau *endogenous burn*, sehingga daerah yang tadinya pucat pada *electrical mark* menjadi hitam hangus terbakar.¹⁷

2.3.5 Gambaran Mikroskopis Kerusakan Kulit

Gambaran pada kulit berupa rongga-rongga pada lapisan epidermis, dan kadang pada dermis. Hal ini disebabkan karena adanya ruang udara yang berasal dari pemisahan jaringan panas dari sel-sel tersebut. Bagian terluar epidermis dapat terlepas.¹

Pada beberapa luka trauma listrik ditemukan vakola – vakuola kecil pada stratum korneum. Vakuola berasal dari kelenjar keringat di tempat masuk dan keluarnya arus listrik, sebagai akibat produksi uap panas berlebih yang mengakibatkan pelebaran kelenjar keringat tersebut, dikenal sebagai "honeycomb atau Swiss cheese-like appearance".^{1,6}

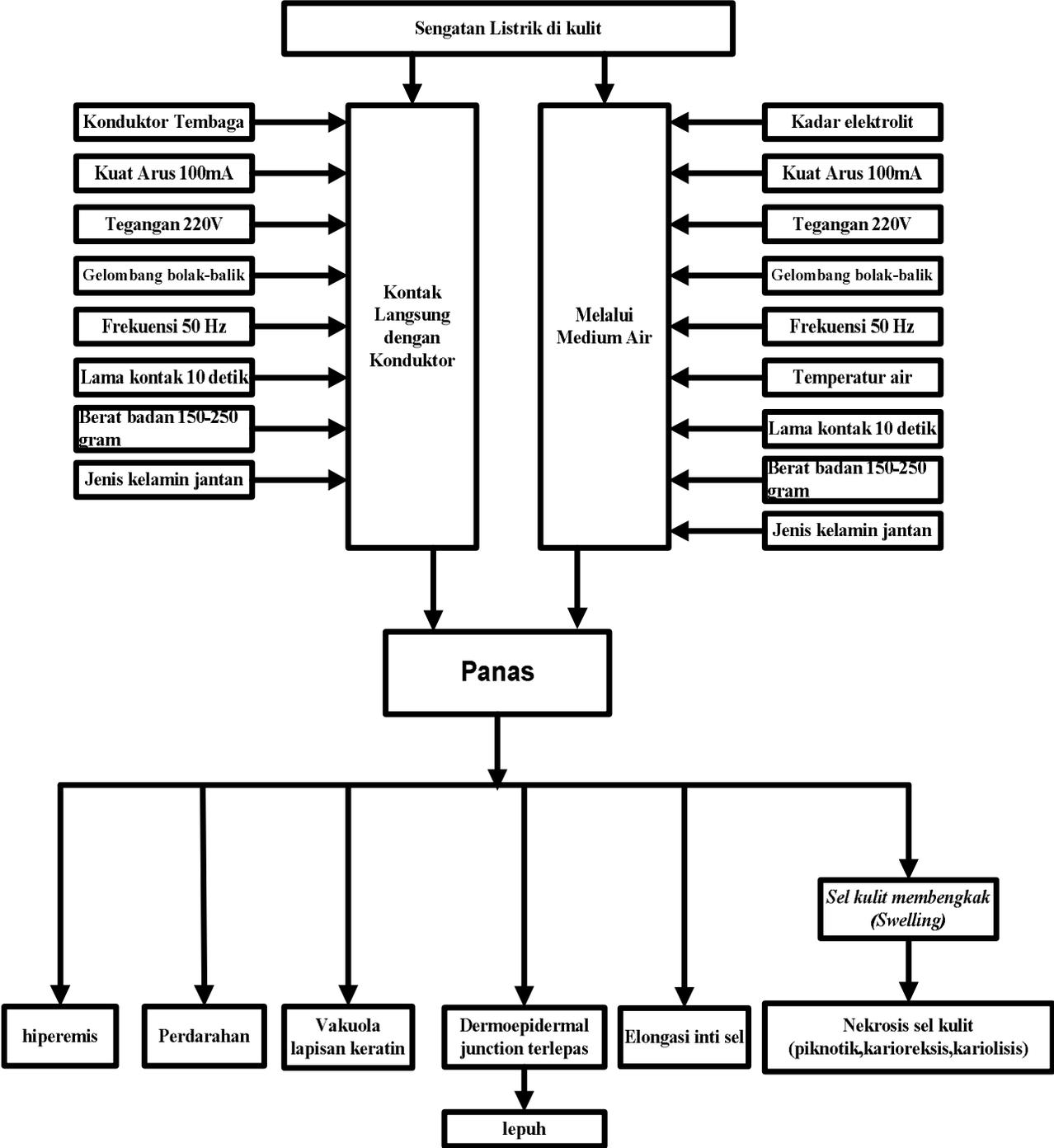
Bohm (1967) dan Sellier (1975) melaporkan bahwa pada bagian tengah epidermis yang kontak dengan konduktor tampak kulit tertekan, tipis, membentuk saluran terputus-putus disertai pengarang dan robekan pada pinggir luka tersebut. Selain itu terkadang timbul luka lepuh berisi cairan kaya protein dan leukosit. Pada tahun 1981 Thomsen mengamati luka sengatan listrik dengan mikroskop elektron, tampak gambaran perubahan partikel inti sel. Partikel inti sel berubah bentuk, berisi gumpalan kromatin, homogen, dan bergranuler halus. Ditemukan pula perpanjangan inti sel menjadi piknotik.^{1,25,27}

Semakin besar energi panas yang dihasilkan oleh arus listrik maka semakin luas kerusakan pada epidermis yang kontak dengan konduktor. Epidermis dapat terlepas dari ikatannya dengan dermis. Sedangkan pada tepi luka, epidermis mengalami penebalan, homogen, dan tampak vakuola-vakuola di dalamnya. Gambaran ini tampak nyata jika konduktor kontak dengan telapak tangan dan telapak kaki. Pada sel-sel basal epidermis tepi luka ditemukan pemanjangan inti sel yang piknotik. Elongasi tiap-tiap sel tersebut dapat tersusun *spiral*, *loop*, *whorls*, *palisade* satu sama lain. Gambaran yang sama juga ditemukan pada organ-organ kulit aksesoris misalnya pada folikel rambut.²⁵

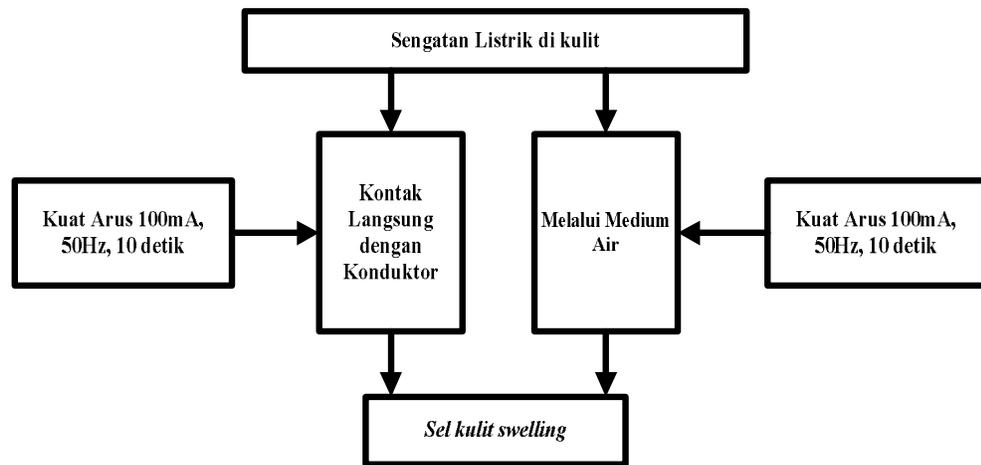
Seharusnya perhatian perlu ditujukan kepada distribusi nekrosis, pembengkakan dan perdarahan yang tidak merata di dermis di bawah epidermis yang kontak dengan konduktor. Gambaran nekrosis akan lebih jelas terlihat di sel basal epidermis kulit. Pemeriksaan hendaknya juga dilakukan terhadap daerah-daerah yang berada di sekitar luka.²⁵

Gambaran mikroskopis sengatan listrik pada kulit belum pernah ada yang meneliti tetapi diduga gambaran kerusakan sel dengan paparan listrik yang cukup akan timbul karena sengatan listrik dapat menghasilkan panas. Kerusakan yang timbul diperkirakan hampir sama dengan kerusakan sel karena panas pada umumnya yaitu timbul denaturasi protein yang akhirnya menimbulkan nekrosis sel. Hal ini dibuktikan oleh Lestari (2008) yang menunjukkan kerusakan sel otot pada sengatan listrik di air. Gambaran kerusakan otot yang hampir sama dengan kerusakan akibat panas.⁸

2.4 KERANGKA TEORI



2.5 KERANGKA KONSEP



2.6 HIPOTESIS PENELITIAN

Terdapat perbedaan antara kerusakan kulit tikus *Wistar* akibat paparan arus listrik secara kontak langsung dan melalui media air.