

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kulit

2.1.1. Definisi

Kulit adalah organ tubuh paling luar yang berfungsi melindungi bagian tubuh dari berbagai macam gangguan dan rangsangan luar. Luas permukaan kulit orang dewasa 1,5-2 m² dengan berat kira-kira 15-20% berat badan. Ketebalan kulit berbeda-beda tergantung pada tempat/lokasi, yaitu berkisar antara 0,5-4 mm.^{21,22,23}

2.1.2. Anatomi dan Histologi Kulit

Pembagian kulit secara garis besar tersusun atas tiga lapisan utama yaitu:

1. Lapisan Epidermis atau Kutikel

Lapisan luar kulit yang berasal dari ektoderm, tersusun atas epitel berlapis gepeng berkeratin dan lebih tipis dibanding lapisan dermis.

2. Lapisan Dermis (korium, kutis vera, *true skin*)

Lapisan kulit yang tersusun dari jaringan ikat padat dan berasal dari mesoderm.

3. Lapisan Subkutis (hipodermis)

Tidak ada garis tegas yang memisahkan antara dermis dan subkutis.

Lapisan ini ditandai dengan adanya jaringan ikat longgar dan adanya sel serta jaringan lemak.^{21,22,24}

1. Lapisan Epidermis, terdiri atas :

a. Stratum Korneum (Lapisan Tanduk)

Lapisan kulit paling luar dimana eleidin berubah menjadi keratin yang tersusun tidak teratur sedangkan serabut elastis dan retikuleranya lebih sedikit. Terdiri atas 15-20 lapis sel gepeng berkeratin tanpa inti dengan sitoplasma yang dipenuhi keratin filamentosa birefringen.^{22,25}

b. Stratum Lusidum

Terletak langsung di bawah stratum korneum, merupakan lapisan tipis translusen sel eosinofilik yang sangat pipih. Organel dan inti menghilang serta sitoplasma hampir sepenuhnya berisi filamen keratin padat yang berhimpitan dalam matriks padat elektron. Lapisan ini hanya dijumpai pada kulit tebal.^{21,26,25}

c. Stratum Granulosum (Lapisan Keratohialin)

Terdiri 3-5 lapis sel-sel poligonal gepeng dengan sitoplasma berbutir kasar dan terdapat inti di antaranya. Butir-butir kasar ini terdiri atas keratohialin. Mukosa biasanya tidak mempunyai lapisan ini. Tampak jelas pada telapak tangan dan kaki.^{21,22,25,27}

d. Stratum Spinosum (Stratum Malpighi)

Lapisan epidermis paling tebal terdiri dari sel kuboid dengan inti di tengah, nukleolus dan sitoplasma aktif menyintesis filamen keratin. Intinya besar dan oval.^{25,26}

e. Stratum Basale (Stratum Germinativum)

Stratum basale terdiri atas selapis sel kuboid atau kolumnar basofilik. Ditandai dengan tingginya aktivitas mitosis. Terdapat pula sel pembentuk melanin (melanosit) dengan sel berwarna muda, sitoplasma basofilik, inti gelap dan mengandung butir pigmen.^{21,23,25}

2. Lapisan dermis

Lapisan yang lebih tebal daripada epidermis. Terdiri atas lapisan elastik dan fibrosa padat dengan elemen selular dan folikel rambut.²⁶ Terbagi menjadi dua bagian yaitu :

a. Pars Papilare (Stratum Spongiosum)

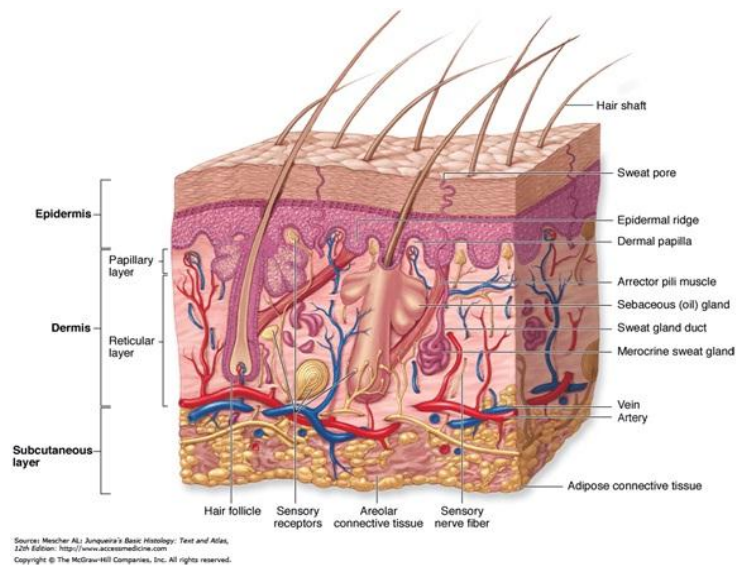
Lapisan tipis terdiri dari jaringan ikat longgar dengan fibroblas, sel mast dan makrofag serta terdapat bagian yang menonjol ke epidermis yang disebut papila dermis. Lapisan ini berisi ujung serabut saraf dan pembuluh darah.^{22,25}

b. Pars Retikulare (Stratum Kompaktum)

Lapisan yang lebih tebal terdiri atas jaringan ikat padat iregular (terutama kolagen tipe I) tersusun atas serabut penunjang seperti serabut kolagen, elastin, dan retikulin. Dasar lapisan ini terdiri atas cairan kental asam hialuronat dan kondroitin sulfat serta fibroblas.^{21,25}

3. Lapisan Subkutis

Terdiri atas jaringan ikat longgar berisi sel-sel lemak di dalamnya. Lapisan sel lemak (panikulus adiposa) yang berfungsi sebagai cadangan makanan merupakan sel bulat, besar, dengan inti terdesak ke pinggir. Pada lapisan ini terdapat ujung-ujung saraf tepi, pembuluh darah dan getah bening. Vaskularisasi diatur oleh pleksus superfisial yang terletak di bagian atas dermis dan pleksus profunda yang terletak di subkutis.^{21,22,28}



Gambar 1. Struktur Kulit²⁵

2.1.3. Fisiologi Kulit

1. Fungsi Proteksi

Kulit menjaga bagian dalam tubuh terhadap gangguan fisis atau mekanis seperti gaya gesekan, tekanan, tarikan, gangguan infeksi luar terutama bakteri maupun jamur, zat-zat kimia yang bersifat

iritan seperti lisol, karbol, asam, dan alkali kuat lainnya, serta adanya pigmen melanin gelap yang dapat melindungi sel dari radiasi ultraviolet.^{21,23,25}

2. Fungsi Absorpsi

Kulit sehat tidak mudah menyerap air, larutan dan benda padat, tetapi lebih mudah menyerap pada cairan yang mudah menguap. Permeabilitas kulit terhadap O₂, CO₂, dan uap air memungkinkan kulit ikut mengambil bagian pada fungsi respirasi. Kemampuan ini dipengaruhi oleh tebal tipisnya kulit, hidrasi, kelembaban, metabolisme, dan jenis vehikulum. Penyerapan lebih banyak melalui sel-sel epidermis daripada melalui muara kelenjar.²¹

3. Fungsi Ekskresi

Kulit berfungsi untuk pengeluaran keringat.²²

4. Fungsi Persepsi

Kulit sangat peka terhadap berbagai rangsang sensorik karena mengandung ujung-ujung saraf sensorik di dermis dan subkutis. Rangsang panas diperankan oleh badan ruffini di dermis dan subkutis. Badan krause di dermis berperan terhadap rangsang dingin. Rangsang raba diperankan oleh badan meissner di papila dermis.^{21,23,25}

5. Fungsi Pengaturan Suhu Tubuh

Temperatur kulit dikontrol dengan dilatasi atau kontriksi pembuluh darah kulit. Temperatur yang meningkat menyebabkan vasodilatasi

pembuluh darah, kemudian tubuh melepas panas dari kulit dengan cara mengirim sinyal kimia yang dapat meningkatkan aliran darah di kulit. Sedangkan temperatur yang menurun, pembuluh darah kulit akan vasokonstriksi untuk mempertahankan panas.^{21,23,27}

6. Fungsi Pembentukan Pigmen

Sel pembentuk pigmen (melanosit) ini terletak dilapisan basal. Jumlah melanosit dan besarnya butiran pigmen (melanosomes) menentukan warna kulit ras maupun individu. Paparan sinar matahari mempengaruhi produksi melanosom.²¹

7. Fungsi Pembentukan Vitamin D

Kulit dapat membuat vitamin D dari bahan 7-dihidroksi kolesterol dengan pertolongan sinar matahari.²¹

2.2 Luka Bakar

2.2.1. Definisi

Luka bakar adalah luka karena kontak langsung dengan suhu tinggi seperti api, air panas, listrik, bahan kimia, dan radiasi.³ Luka bakar merupakan jenis cedera traumatik paling berat jika dibandingkan dengan trauma lainnya dengan tingkat morbiditas dan mortalitas yang tinggi.²⁹ Luka bakar dapat merusak jaringan otot, tulang, pembuluh darah, jaringan epidermal dan jaringan-jaringan lainnya.³⁰ Luka bakar dapat mengakibatkan berbagai masalah seperti masalah kematian, kecacatan, hilangnya kepercayaan diri dan mengeluarkan biaya yang relatif banyak.³¹

2.2.2. Penyebab Terjadinya Luka Bakar

1. Luka Bakar Termal

Luka bakar ini disebabkan karena kontak dengan api, cairan panas atau objek-objek panas lainnya. Luka bakar akibat panas, terjadi akibat meningkatnya suhu yang mengakibatkan kematian sel. Akibat terpapar zat panas maka dapat menyebabkan luka lepuh.^{6,32}

2. Luka Bakar Kimia

Luka bakar ini terjadi akibat paparan zat yang bersifat asam maupun basa. Karakteristik keduanya memiliki perbedaan dalam hal kedalaman luka bakar yang terjadi. Luka bakar akibat paparan zat yang bersifat basa dapat mengakibatkan luka yang lebih dalam dibandingkan dengan zat asam. Hal ini dikarenakan zat basa akan menyatu dengan jaringan lemak di kulit sehingga menyebabkan kerusakan jaringan yang lebih progresif, sedangkan luka bakar akibat asam akan menyebabkan koagulasi protein. Luka bakar kimia yang dapat terjadi, misalnya karena kontak dengan zat – zat pembersih yang sering dipergunakan untuk keperluan rumah tangga dan berbagai zat kimia yang digunakan dalam bidang industri, pertanian dan militer.^{6,32}

3. Luka Bakar Elektrik

Luka bakar listrik ini disebabkan oleh panas yang digerakan dari energi listrik yang dihantarkan melalui tubuh. Berat ringannya luka

dipengaruhi oleh lamanya kontak, tingginya voltage dan cara gelombang elektrik itu sampai mengenai tubuh.^{6,32}

4. Luka Bakar Radiasi

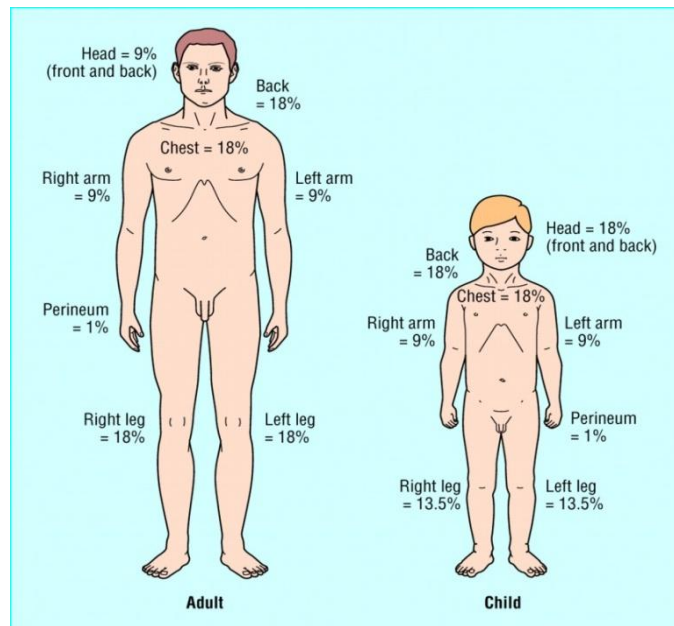
Luka bakar radiasi disebabkan karena terpapar dengan sumber radioaktif. Tipe luka ini sering berhubungan dengan penggunaan sumber radiasi untuk terapeutik pada dunia kedokteran atau radiasi ion pada industri. Terpapar oleh sinar matahari yang terlalu lama juga merupakan salah satu tipe luka bakar radiasi.^{6,32}

2.2.3. Persentase Luas Luka Bakar

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk menghitung luas luka bakar atau *Total Body Surface Area* (TBSA) yaitu dengan menggunakan *rule of nine* atau *rule of wallace* dan *lund and browder chart*. Metode yang seringkali dipakai untuk menentukan luas luka bakar adalah mengacu pada *rule of nine* untuk dewasa. Sedangkan pada anak biasa digunakan metode *lund browder chart*³².

1. *Rule of Nine*

Metode ini dapat digunakan untuk menghitung luka bakar yang sedang-luas dengan cepat. Cara yang digunakan dengan membagi tubuh menjadi sebelas regio di mana masing-masing regio seluas 9% ditambah dengan daerah kemaluan seluas 1% pada dewasa.



Gambar 2. Metode Rule of Nine⁶

2. Metode Lund and Browder Chart

Cara yang paling tepat untuk menghitung luas luka bakar yang akurat pada anak-anak dan bayi karena dapat mengikuti perubahan permukaan tubuh sesuai dengan usia.^{6,33,34,35}

2.2.4. Derajat Luka Bakar

Kedalaman kerusakan jaringan akibat luka bakar terbagi dalam 3 derajat.

1. Luka Bakar Derajat I

Kerusakan jaringan terbatas pada lapisan epidermis (superfisial)/*epidermal burn*. Kulit hiperemik berupa eritema, sedikit edema, tidak dijumpai bula, dan terasa nyeri akibat ujung saraf sensoris teriritasi. Pada hari keempat setelah paparan sering

dijumpai deskuamasi. Penyembuhan terjadi dalam kurun waktu 5-10 hari. Contoh pada derajat ini adalah luka bakar akibat sengatan matahari. Pada keadaan ini tidak menimbulkan jaringan parut dan kulit sembuh tanpa cacat. Salep antibiotika dan pelembab kulit dapat diberikan pada luka derajat ini dan tidak memerlukan pembalutan.^{7,36,37}

2. Luka Bakar Derajat II

Kerusakan meliputi epidermis dan sebagian dermis berupa reaksi inflamasi disertai proses eksudasi. Pada derajat ini terdapat bula dan terasa nyeri akibat iritasi ujung-ujung saraf sensoris. Pada fase penyembuhan akan tampak daerah bintik-bintik biru dari kelenjar sebacea dan akar rambut.

a. Luka Bakar Derajat II Dangkal/*Superficial Partial Thickness*

Kerusakan jaringan meliputi epidermis dan lapisan atas dermis. Kulit tampak kemerahan, edema, dan terasa lebih nyeri saat disentuh daripada luka bakar derajat I. Luka akan lebih pucat jika kena tekanan. Masih dapat ditemukan folikel rambut, kelenjar keringat, dan kelenjar sebacea. Penyembuhan terjadi dalam 10-14 hari tanpa sikatrik, namun warna kulit sering tidak sama dengan sebelumnya. Perawatan luka dengan pembalutan, salep antibiotika perlu dilakukan tiap hari.^{7,36,32,35}

b. Luka Bakar Derajat II Dalam/*Deep Partial Thickness*

Kerusakan jaringan mengenai hampir seluruh dermis. Bula sering ditemukan dengan dasar luka eritema yang basah. Permukaan luka berbercak merah dan sebagian putih karena variasi vaskularisasi. Luka terasa nyeri, namun tidak sehebat derajat II dangkal. Folikel rambut, kelenjar keringat, dan kelenjarsebasea tinggal sedikit. Penyembuhan terjadi lebih lama, sekitar 3-9 minggu dan meninggalkan jaringan parut.³⁶

3. Luka Bakar Derajat III

Kerusakan jaringan permanen yang meliputi seluruh lapisan dermis atau lebih dalam hingga jaringan subkutis, otot, dan tulang. Tidak ada lagi elemen epitel dan tidak dijumpai bula, kulit yang terbakar berwarna keabu-abuan pucat hingga warna hitam kering (nekrotik). Terdapat eskar yang merupakan hasil koagulasi protein epidermis dan dermis. Eskar merupakan dermis yang terbakar kemudian mengering dan menciut. Luka tidak nyeri dan hilang sensasi akibat kerusakan ujung-ujung saraf sensoris. Penyembuhan lebih sulit karena tidak ada epitelisasi spontan. Perlu dilakukan eksisi dengan grafting kulit agar luka dapat sembuh dengan waktu yang tidak terlalu lama, hal ini dilakukan pada luka bakar derajat II dalam dan luka bakar derajat III. Eksisi awal mempercepat penutupan luka, mencegah infeksi, mempersingkat durasi penyembuhan, mencegah komplikasi sepsis, dan secara kosmetik lebih baik.^{7,36,32,35,37,38}

2.2.5. Penyembuhan Luka

Proses penyembuhan luka terdapat 3 fase yaitu fase inflamasi, fase proliferasi dan fase maturasi (*remodelling*).

1. Fase Inflamasi

Fase inflamasi atau “*lag phase*” dimulai segera sampai 4-5 hari setelah trauma. Pada luka yang menembus epidermis, akan merusak pembuluh darah menyebabkan perdarahan sehingga terjadi proses hemostasis dan tubuh berusaha menghentikannya dengan vasokonstriksi, yaitu pengerutan ujung pembuluh yang putus (retraksi). Proses ini memerlukan peranan platelet dan fibrin.^{10,11,35}

Akibat perdarahan, trombosit dan sel-sel radang ikut keluar dari pembuluh darah. Hemostasis terjadi karena trombosit yang keluar saling melekat, dan bersama jalan fibrin yang terbentuk, membekukan darah yang keluar dari pembuluh darah. Trombosit mengeluarkan prostaglandin, tromboksan, bahan kimia dan asam amino tertentu yang mempengaruhi pembekuan darah, mengatur tonus dinding pembuluh darah dan kemotaksis terhadap lekosit. Trombosit yang berlekatan akan berdegranulasi untuk melepas kemoatraktan yang menarik sel radang selanjutnya mengaktifkan fibroblas lokal dan sel endotel serta vasokonstriktor dan terjadi reaksi inflamasi.^{35,38}

Selanjutnya terjadi proses koagulasi yang akan mengaktifkan kaskade komplemen. Kaskade ini mengeluarkan bradikinin dan anafilatoksin C3a dan C5a yang menyebabkan vasodilatasi dan permeabilitas vaskular meningkat sehingga terjadi eksudasi, penyebukan sel radang, disertai vasodilatasi setempat yang menyebabkan udem dan pembengkakan. Selain kaskade tersebut, sel mast yang terdapat pada permukaan endotel mengeluarkan histamin dan serotonin yang juga menyebabkan vasodilatasi dan peningkatan permeabilitas vaskuler. Reaksi inflamasi yang ditandai oleh *rubor* (kemerahan), *tumor* (pembengkakan), *calor* (hangat), dan *dolor* (nyeri) mulai timbul, hal ini bertujuan untuk membunuh bakteri yang mengkontaminasi luka.^{10,35,38}

Pergerakan leukosit menembus dinding pembuluh darah melalui proses aktif yaitu diapedesis, kemudian menuju luka karena adanya daya kemotaksis. Leukosit, limfosit, dan monosit membantu memakan kotoran luka dan bakteri (fagositosis). Fase ini disebut fase lag (tertinggal) karena reaksi pembentukan kolagen sedikit dan luka hanya ditautkan oleh fibrin yang sangat lemah. Monosit juga berubah menjadi makrofag yang menyekresi berbagai macam sitokin dan *growth factor* yang dibutuhkan dalam proses penyembuhan luka.^{35,38}

2. Fase Proliferatif

Fase proliferasi atau granulasi berlangsung dari hari keenam sampai tiga minggu. Fase ini disebut juga fase fibroplasia karena yang menonjol adalah proses proliferasi fibroblas. Fibroblas menghasilkan mukopolisakarida dan serat kolagen berupa asam-asam amino glisin, prolin, dan hidroksiprolin. Mukopolisakarida mengatur deposisi serat kolagen yang akan mempertautkan tepi luka. Serat kolagen dibentuk dan dihancurkan kembali untuk menyesuaikan dengan tegangan luka yang cenderung mengerut dan bersama dengan sifat kontraktif miofibroblas maka menyebabkan tarikan pada tepi luka.^{35,38,39}

Fase ini luka diisi oleh sel-sel radang, fibroblas, serat kolagen, pembentukan pembuluh darah baru (angiogenesis), sehingga membentuk jaringan kemerahan dengan permukaan tak rata yang disebut jaringan granulasi. Proses ini berhenti setelah epitel saling menyentuh dan menutup seluruh permukaan luka. Tertutupnya permukaan luka menyebabkan proses pembentukan jaringan granulasi juga akan berhenti dan mulai terjadi proses pematangan dalam fase *remodelling*.^{10,11,35,38,40}

3. Fase Pematangan

Fase *remodelling* jaringan parut merupakan fase terlama dari proses penyembuhan. Proses ini dimulai sekitar hari ke-21 hingga satu tahun. Proses *remodelling* akan meningkatkan kekuatan tahanan

luka secara drastis pada minggu ketiga hingga minggu keenam setelah luka. Proses ini didasari pergantian dari kolagen tipe III menjadi kolagen tipe I. Kekuatan tahanan luka maksimal akan mencapai 90% dari kekuatan kulit normal. Berakhirnya fase ini bila tanda-tanda radang sudah hilang. Parut dan sekitarnya berwarna pucat, tipis, lemas, tidak ada rasa sakit dan gatal. Pada fase ini kontraksi parut kelihatan dominan.^{10,11,35,38,39,40,41}

2.2.6. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Penyembuhan Luka

1. Nutrisi

Berbagai komponen nutrisi dibutuhkan dalam proses penyembuhan luka seperti protein, vitamin C, vitamin A dan mineral. Jika kebutuhan nutrisi tidak terpenuhi maka dapat mengganggu proses proliferasi sehingga pembentukan jaringan baru pada luka akan terhambat.^{42,43}

2. Obesitas

Seseorang yang memiliki kelebihan berat badan mengakibatkan suplai darah ke jaringan adiposa menjadi lambat. Sehingga proses penyembuhan luka akan terhambat karena tidak tercukupinya zat-zat yang dibutuhkan seperti oksigen dan nutrisi yang dibawa oleh darah untuk pembentukan jaringan baru.⁴²

3. Sistem Kekebalan Tubuh

Penyembuhan luka terdiri dari serangkaian peristiwa yang bertujuan untuk memperbaiki jaringan yang terluka. Peran sistem kekebalan tubuh dalam proses ini yaitu untuk mengenali dan memerangi antigen baru dari luka, tetapi juga untuk proses regenerasi sel.^{42,43}

4. Umur

Luka yang terjadi pada orang dewasa dan anak-anak akan lebih mudah sembuh dibandingkan pada usia lanjut. Hal tersebut berkaitan dengan kondisi yang kurang mendukung pada usia lanjut seperti adanya aterosklerosis dan atropi kapiler yang mengganggu kelancaran aliran darah menuju daerah luka.⁴²

5. Obat

Beberapa jenis obat seperti golongan steroid, aspirin, heparin dan anti kanker yang dikonsumsi seseorang dapat memperlambat proses penyembuhan luka.⁴²

6. Penyakit

Berbagai penyakit seperti diabetes melitus, gangguan imunitas dan infeksi dapat menghambat proses penyembuhan luka. Pada orang diabetes, peningkatan gula darah akibat hambatan sekresi insulin menyebabkan nutrisi tidak dapat masuk ke dalam sel, akibatnya terjadi penurunan protein dan kalori dalam tubuh.⁴²

7. Rehidrasi dan Pencucian Luka

Jumlah bakteri dalam luka akan berkurang apabila dilakukan rehidrasi dan pencucian luka, sehingga jumlah eksudat yang dihasilkan bakteri juga akan berkurang.⁴³

8. Gaya Hidup

Gaya hidup yang buruk seperti merokok dapat menghambat proses penyembuhan luka karena haemoglobin sedikit mengangkut oksigen. Aliran darah perokok juga tidak lancar karena terjadi peningkatan agregat pletelet dalam sistem sirkulasi darah. Orang dengan gaya hidup yang sehat akan melancarkan proliferasi sehingga jaringan baru segera terbentuk dan lebih cepat menyembuhkan luka.⁴²

2.3 Asap cair

2.3.1. Definisi

Asap cair merupakan cairan kondensat atau pengembunan dari uap asap hasil pirolisis yang mengandung senyawa penyusun utama asam, fenol dan karbonil sebagai hasil degradasi termal komponen selulosa, hemiselulosa dan lignin melalui pembakaran tidak sempurna pada suhu sekitar 400°C. Senyawa asam, fenol dan karbonil dalam asap cair berperan dalam memberikan karakteristik aroma, warna, flavor, bahan pengawet, anti rayap, anti jamur, penggumpalan karet, pestisida, antioksidan dan antimikroba.

Bahan pembentuk asap cair ini dapat diproduksi dari berbagai bahan yang banyak terdapat di Indonesia, misalnya kayu keras, kayu lunak, limbah industri maupun limbah pertanian. Limbah pertanian yang digunakan merupakan bahan yang dibuang dari hasil sektor pertanian, misalnya tempurung kelapa, sabut, bonggol jagung, kulit jagung, sekam padi, dedak, ampas tebu, kulit kacang tanah, kayu ketela pohon, kelobot, sabut sawit, kulit kakao, kulit kopi dan sebagainya.^{14,15,16,44,45}

2.3.2. Proses Pembuatan Asap Cair

1. Tahap Pirolisis

Pirolisis “*destructive distillation*” merupakan proses pemecahan komponen-komponen penyusun asap cair seperti kayu keras melalui pemanasan suatu zat dengan suplai oksigen terbatas atau tanpa adanya oksigen. Proses ini menghasilkan padatan, cairan, dan gas dengan jumlah yang bervariasi tergantung jenis, komposisi bahan, metode pirolisa dan kondisi reaktor yang disebabkan karena terjadi reaksi penguraian dari senyawa-senyawa kompleks yang menyusun bahan tersebut. Gas-gas yang dikeluarkan pada proses karbonisasi ini sebagian besar berupa gas CO₂ dan sebagian lagi berupa gas-gas yang mudah terbakar seperti CO, CH₄, H₂ dan hidrokarbon tingkat rendah lain.^{46,47}

Reaksi yang terjadi selama pirolisa kayu adalah penghilangan air dari kayu pada suhu 120-150°C, pirolisa hemiselulosa pada suhu

200-250°C menghasilkan senyawa furfural, furan, asam asetat dan homolognya. Pirolisa selulosa pada suhu 280-320°C menghasilkan senyawa asam asetat dan senyawa karbonil seperti asetaldehid, glioksal dan akrolein. Sedangkan pirolisa lignin pada suhu 400°C akan menghasilkan senyawa yang berperan terhadap aroma asap dari produk-produk hasil pengasapan. Senyawa tersebut adalah fenol, guaikol, siringol bersama dengan homolog dan derivatnya.^{47,48,49,50}

2. Tahap Kondensasi

Bagian penting dari proses pembuatan asap cair adalah proses perubahan fase asap menjadi cair dengan cara pelepasan panas asap yang dikenal dengan proses kondensasi. Pada tahap ini, asap yang terbentuk dari tahap pirolisis dilewatkan dalam pipa kondensor dengan air sebagai media pendinginnya. Proses kondensasi asap akan membentuk kondensat ekstrak kasar asap cair yang masih memiliki kandungan tar tinggi sehingga harus diredestilasi atau dimurnikan lagi untuk mendapatkan asap cair yang aman digunakan.⁴⁹

3. Tahap Redistilasi

Redestilasi merupakan salah satu cara pemurnian terhadap asap cair yang dilakukan untuk menghilangkan senyawa-senyawa yang tidak diinginkan dan berbahaya, seperti poliaromatik hidrokarbon (PAH) dan tar dengan cara pengaturan suhu didih sehingga diharapkan mendapat asap cair yang jernih, bebas tar, dan benzopiren.⁴⁸

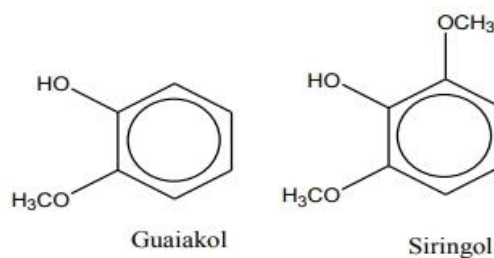
2.3.3. Komponen Penyusun Asap Cair

Asap cair mengandung berbagai senyawa yang terbentuk karena terjadinya pirolisis tiga komponen kayu yaitu selulosa, hemiselulosa dan lignin. Lebih dari 400 senyawa kimia dalam asap telah berhasil diidentifikasi. Beberapa jenis senyawa yang telah diidentifikasi dalam asap cair, yaitu 85 fenolik, 45 karbonil, 35 asam, 11 furan, 15 alkohol dan ester, 13 lakton, dan 21 hidrokarbon alifatik. Golongan-golongan senyawa penyusun asap cair terdiri dari air (11-92 %), fenol (0,2-2,9 %), asam (2,8-9,5 %), karbonil (2,6-4,0 %), dan tar (1-7 %).^{17,51}

1. Senyawa Fenol

Senyawa fenol berperan sebagai antioksidan sehingga dapat memperpanjang masa simpan produk asapan dan dapat memberikan cita rasa dan warna yang khas pada produk olahan. Kandungan senyawa fenol dalam asap tergantung pada temperatur pirolisis. Kualitas fenol pada kayu sangat bervariasi yaitu antara 10-200 mg/kg. Beberapa jenis fenol yang biasanya terdapat dalam produk asapan adalah guaiakol dan siringol.^{17,47,52}

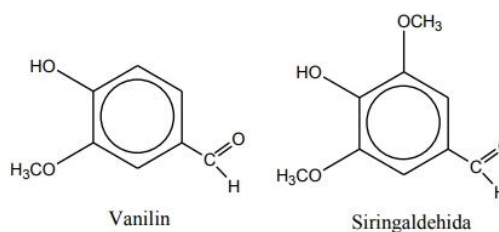
Mekanisme aktivitas antimikroba fenol dan turunannya meliputi reaksi dengan membran sel yang menyebabkan meningkatnya permeabilitas membran sel dan mengakibatkan hilangnya isi sel, inaktivasi enzim-enzim esensial dan inaktivasi fungsional materi genetik.⁵³



Gambar 3. Guaiakol dan Siringol⁵²

2. Senyawa Karbonil

Senyawa-senyawa karbonil dalam asap berperan pada pewarnaan dan citarasa produk asapan serta pengusir insekta. Jenis senyawa karbonil dalam asap cair antara lain adalah vanilin dan siringaldehid.^{17,52}



Gambar 4. Vanilin dan Siringaldehid⁵²

3. Senyawa asam

Senyawa-senyawa ini berperan sebagai antibakteri dan pemberi citarasa produk asapan. Senyawa asam ini antara lain adalah asam asetat, propionat, butirat, dan valerat.^{52,54}

Kandungan asam asetat akan menurunkan pH dimana pH yang rendah dapat memperlambat pertumbuhan mikroorganisme dengan merusak membran dan penghambatan metabolisme esensial.⁵⁵

4. Senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH)

Senyawa PAH dapat terbentuk pada proses pirolisis kayu, seperti benzo(a)pirena atau yang disebut dengan tar. Senyawa tersebut bersifat karsinogen sehingga harus dihilangkan pada proses awal pembuatan asap cair. Pembentukan berbagai Senyawa PAH selama pembuatan asap tergantung temperatur pirolisis, waktu dan kelembaban udara pada proses pembuatan asap serta kandungan udara dalam kayu. Pengendapan dan penyaringan akan menurunkan kadar benzo(a)pirena dalam asap cair. Benzo(a)pirena mempunyai titik didih 310°C dan dapat menyebabkan kanker kulit jika dioleskan langsung pada permukaan kulit. Akan tetapi proses yang terjadi memerlukan waktu yang lama.^{17,52,54}

2.3.4. Kualitas dan Klasifikasi Asap Cair

Kualitas asap cair yang diperoleh dari hasil pirolisis sangat dipengaruhi oleh jenis kayu, suhu yang digunakan, ukuran partikel kayu, dan kadar air kayu. Kayu keras seperti kayu kasuari, tempurung kelapa, sabut kelapa, serbuk gergaji dapat menghasilkan banyak asap karena proses pembakarannya berlangsung lambat. Suhu juga ikut menentukan kualitas asap cair, jika terlalu rendah maka tidak akan terjadi pemutusan ikatan-ikatan material sehingga hasil pirolisis tidak optimal. Sebaliknya bila terlalu tinggi senyawa-senyawa terdegradasi menjadi rantai yang pendek, kualitas asap cair akan berubah. Kadar air yang terlalu tinggi akan mengurangi kualitas asap

cair yang diproduksi karena tercampurnya hasil kondensasi uap air dan menurunkan kadar fenol.⁵⁶

Klasifikasi Asap Cair :

1. Grade 3

Pemurnian asap cair menggunakan proses destilasi. Pada proses ini asap cair masih banyak mengandung tar yang bersifat karsinogenik. Asap cair ini berwarna coklat pekat dan memiliki bau yang tajam.

2. Grade 2

Tahap ini dilakukan penyaringan zeolit. Asap cair digunakan untuk pengawet makanan sebagai pengganti formalin, berwarna kecoklatan transparan, rasa asam sedang, aroma asap lemah.

3. Grade 1

Tahap selanjutnya dilakukan penyaringan dengan karbon aktif. Asap cair ini digunakan sebagai pengawet makanan seperti bakso, mie, tahu dan bumbu-bumbu barbaque. Memiliki ciri berwarna bening, rasa sedikit asam dan aroma netral. Merupakan asap cair yang paling bagus kualitasnya dan tidak mengandung senyawa yang berbahaya lagi.^{57,58}

2.3.5. Manfaat Penggunaan Asap Cair

1. Industri Pangan

Asap cair karena sifat antimikrobia dan antioksidannya memiliki kegunaan sebagai pengawet, pemberi rasa dan aroma yang spesifik.

Penggunaan asap cair untuk pengawetan bahan makanan dapat mencegah penggunaan pengawet berbahaya seperti formalin dan borak, sekaligus meningkatkan keamanan pangan.^{47,52}

2. Industri Perkebunan

Asap cair dapat digunakan sebagai koagulan lateks karena memiliki sifat seperti antijamur, antibakteri dan antioksidan sehingga dapat memperbaiki kualitas produk karet yang dihasilkan.^{47,52}

3. Industri Kayu

Kayu yang diolesi dengan asap cair mempunyai ketahanan terhadap serangan rayap daripada kayu tanpa diolesi asap cair.^{47,54}

4. Antibakteri

Potensi asap cair sebagai antibakteri dengan senyawa yang mendukung berupa fenol dan asam dapat memperpanjang masa simpan produk dengan mencegah kerusakan akibat aktivitas bakteri perusak atau pembusuk serta dapat melindungi konsumen dari penyakit akibat aktivitas bakteri patogen. Asam lebih kuat menghambat pertumbuhan bakteri daripada fenol, namun apabila keduanya digabungkan akan menghasilkan kemampuan penghambat yang lebih besar daripada masing-masing senyawa. Pada pH 4,0 asap cair mampu menghambat semua bakteri pembusuk dan patogen, namun pada pH tinggi sekitar 6,0 penghambatan asap cair terhadap pertumbuhan bakteri mulai berkurang. Pada pengenceran 10 kali, asap cair mampu menghambat pertumbuhan bakteri *Pseudomonas*

fluorescence, Bacillus subtilis, Escherichia coli, dan Staphylococcus aureus.^{52,54,56}

5. Antioksidan

Senyawa antioksidan utama dalam asap cair adalah fenol. Senyawa fenol menunjukkan peran antioksidatif bertitik didih tinggi pada 2,6-dimetoksifenol; 2,6 dimetoksi-4-metilfenol dan 2,6-dimetoksi-4-etilfenol. Senyawa-senyawa ini dapat menghambat oksidasi lemak, mencegah oksidasi lipid dengan menstabilkan radikal bebas, dan efektif mencegah kehilangan cita rasa akibat oksidasi lemak.^{54,56,59}

2.3.6. Macam-Macam Asap Cair berdasarkan Bahan Baku Pembuatnya

1. Asap Cair dari Bonggol Jagung

Asap cair bonggol jagung memiliki komponen utama asam organik yaitu asam asetat dan asam propionat, senyawa fenol dan turunannya serta senyawa keton. Komponen ini berperan sebagai antimikroba dan antioksidan.⁶⁰ Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) adalah senyawa kimia yang tidak diinginkan yang ada dalam asap. Beberapa PAH menunjukkan karakteristik karsinogenik pada produk asap. Salah satu unsur kimia yang dikenal sebagai agen indikator karsinogen adalah Benz(α)pyrene (3,4-Benzpirena). Menurut penelitian, asap cair dari bonggol jagung ini bebas dari senyawa karsinogenik Benzo(α)pyrene yang berarti aman untuk digunakan.^{61,62,63,64}

Tabel 2. Kandungan Kimia pada Asap Cair Bonggol Jagung⁶⁴

No.	Senyawa	%Area	No.	Senyawa	%Area
1	2-butanone	0,47	20	2(3H)Furanone	1,54
2	Iron, Tricarboxyl	0,42	21	Butanoic Acid	0,80
3	2-propen-1-ol/allyl alcohol	0,13	22	2-Furanone/ 2,5-dihydro-3,5-dimethyl	0,30
4	Pyridine/azabenzene	0,14	23	2-Furamethanol	0,50
5	Cyclopentanone/adipic ketone	0,33	24	Cyclohexane	0,17
6	Oxirane	0,27	25	2(3H)-Furanone	0,17
7	2-cyclopenten-1-One	1,35	26	2-cyclopenten-1-One/ 3-ethyl-2-hyd	0,42
8	2-Cyclopenten-1-One / 2-Methyl	0,63	27	Phenol/ 2-methoxy-4-methyl	0,41
9	1-hydroxy-2-Butanone	2,32	28	Phenol / Sodium phenoxide	4,56
10	2-Pentanone	0,28	29	Guaiacol	0,54
11	Acetic acid/acetate	56,58	30	1,3-propanediamine	0,43
12	Furfural	2,31	31	Phenol, 4-methyl	1,15
13	2-propanone/ 1-(acetyloxy)	0,94	32	Phenol, 4-methyl	0,55
14	2,5-hexanedione	0,19	33	Cyclohexanol	0,27
15	2,5-Dimethyl-1,4-Hexadiene	0,59	34	Phenol / 4-ethyl	1,44
16	2-Cyclopenten-1-One	0,75	35	Phenol / 3-propyl	0,13
17	2-Cyclopenten-1-One	0,83	36	2-Methildihydro-3(2H)-Furanone	0,30
18	1-Fluoroethylene	0,33	37	Phenol, 2,6-dimethoxy	0,98
19	Propanoic acid	3,67	38	1,2,3-propanetriol/ Glycerol	0,11

2. Asap Cair dari Tempurung Kelapa

Asap cair dari tempurung kelapa diketahui mengandung senyawa fenolik seperti 2-metoksifenol (guaiakol), 2,6-dimetoksifenol dan 1,4-dimethyl pyrazole. Kandungan dari asap cair tersebut dapat berfungsi sebagai desinfektan karena dapat membunuh atau menghambat perkembangan bakteri.^{55,61}

Tabel 3. Persentase Derivat Karbonil Utama Bonggol Jagung dan Tempurung Kelapa pada Asap Cair⁶¹

No	Carbonyl derivatives	Liquid Smoke	
		Corn cob (%)	Coconut shells (%)
1	1,2-Benzenediol (<i>H</i>)	3.08	6.76
2	2-Cyclopenten-1-one,2-hidroxy-3-methyl	4.34	3.93
3	2-Furanmethanol (<i>A</i>)	13.51	3.84
4	Phenol,2-Methoxy-4-methyl- (<i>P</i>)	2.86	3.45
5	Phenol (<i>P</i>)	9.72	-
6	Phenol,2,6-dimethoxy (<i>P</i>)	2.27	8.99
7	Phenol,2-methoxy (<i>P</i>)	9.47	12.69
8	Phenol,4-ethyl-2-methoxy (<i>P</i>)	2.52	7.17
9	Phenol,2-methyl (<i>P</i>)	3.31	2.71
10	Pyrazole,1,4-dimethyl	6.47	8.05
11	Hexadecanoic acid (<i>a</i>)	0.9	0.71
12	Propanoic acid (<i>a</i>)	17.53	-

3. Asap Cair dari Ampas Tebu dan Kulit Tebu

Fenolat total yang paling tinggi terkandung dalam sampel asap cair kulit tebu dibandingkan pada asap cair ampas tebu. Total senyawa fenolat asap cair dari ampas dan kulit tebu masing-masing sebesar 68,083 dan 171,417 mg asam galat/g asap cair. Pada asap cair dari ampas tebu ada 3 senyawa yang memiliki konsentrasi tinggi yaitu asam asetat(14,11%), fenol (18,49%), dan 2-furankaboksaldehid, 5-hidroksimetil (28,01), sedangkan pada asap cair dari kulit tebu ada 2 senyawa yang memiliki konsentrasi tinggi yaitu fenol (15,37%), dan 2-furankaboksaldehid, 5-hidroksimetil (36,13%).¹⁵

Tabel 4. Kandungan Kimia yang Teridentifikasi dalam Asap Cair Ampas Tebu dan Kulit Tebu Berdasarkan Database dengan Indeks Kemiripan di Atas 80%¹⁵

No	Senyawa	Kandungan (%)	
		Asap Cair Ampas Tebu	Asap Cair Kulit Tebu
1	2-propanon, 1-hidroksi	4,12	-
2	Asam asetat	14,11	7,84
3	2 hidroksi-3-metil-2-siklopentenon	6,43	5,59
4	Fenol	18,49	15,37
5	4-metil Fenol	2,60	2,85
6	3-metil Fenol	1,82	1,74
7	Pentanal	-	2,21
8	4-Etil Fenol	5,30	5,87
9	5-Asetoksimetil-2-furaldehid	4,30	1,83
10	2,6-dimetoksi Fenol (siringol)	5,94	5,39
11	4-okso Asam Pentanoat	1,42	1,30
12	1,2,4-Trimetoksi Benzena	-	1,46
13	1,4,3,6-Dianhidro- α -d-glulopiranos	2,77	5,22
14	1,3-Di-O-acetil- $\alpha\beta$ -d-ribopirosa	-	0,60
15	2-Furankaboksaldehid, 5-hidroksimetil	28,01 -	36,13

2.4 Hubungan Asap Cair terhadap Penyembuhan Luka

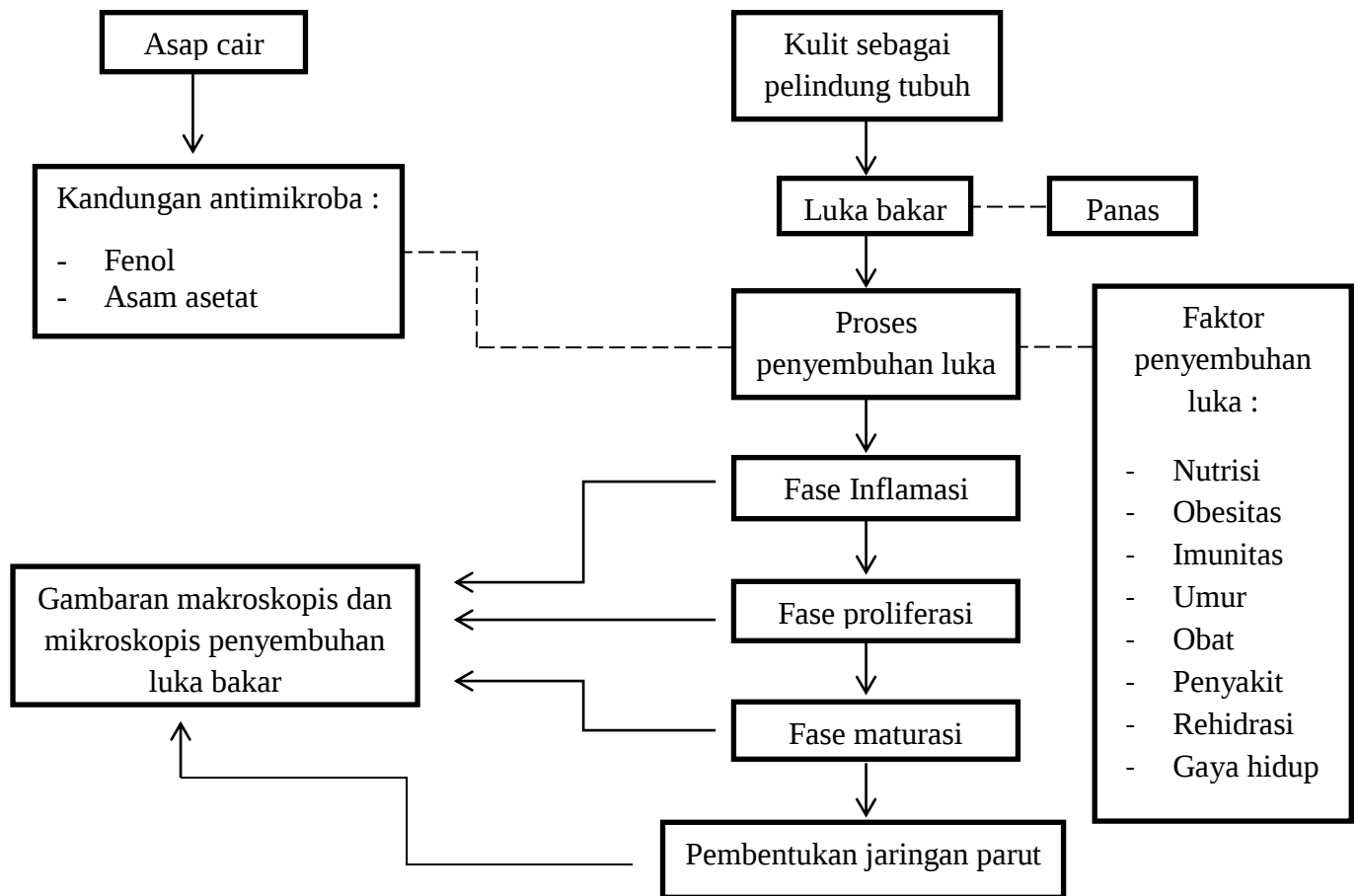
Proses penyembuhan luka terdiri dari 3 fase, yaitu fase inflamasi, proliferasi dan *remodelling*. Fase ini diawali dengan terjadinya migrasi sel-sel inflamasi menuju luka yang menghasilkan Reactive Oxygen Species (ROS) yang berfungsi sebagai sinyal untuk memulai proses penyembuhan luka seperti desinfeksi, angiogenesis, reepitelisasi dan lainnya. Namun, kadar ROS yang tinggi dapat merusak elemen struktural dari Ekstraselular Matriks (ECM) dan sel membran

serta menyebabkan penuaan sel dini. Peranan antioksidan untuk menyeimbangkan kadar ROS diperlukan di sini. Pada tubuh sebenarnya telah memiliki antioksidan endogenous atau enzim yang bertindak sebagai antioksidan seperti *Super Oxygen Dismutase* (SOD), *Gluthione Peroxidase* (GPx), Peroksidoksin (PRDX), Katalase, dan *Heme Oxydase* (HO) yang berperan dalam menyeimbangkan ROS dalam reaksi homeostatis redoks.^{65,66} Homeostasis redoks didefinisikan sebagai keseimbangan antara tingkat spesies oksigen reaktif (ROS) dan antioksidan. Namun, pada kondisi tertentu produksi enzim antioksidan dari dalam tubuh umumnya terganggu sehingga menjadi titik awal gagalnya proses penyembuhan luka. Oleh karena itu, kontrol yang ketat atas jumlah antioksidan yang diinginkan untuk tujuan terapeutik yang tepat sangat diperlukan.⁶⁷

Peranan antibakteri dalam proses penyembuhan luka di sini juga diperlukan dalam menghambat metabolisme seluler dan menghancurkan struktur bakteri yang mengakibatkan bakteri menjadi lemah dan terdeaktivasi sehingga luka dapat sembuh dengan baik tanpa timbulnya infeksi yang menimbulkan banyak komplikasi.^{68,69}

Berdasarkan fisiologi penyembuhan luka tersebut, maka asap cair yang mengandung fenol dan asam dapat berpotensi dalam proses penyembuhan luka yang berperan sebagai antioksidan, antiseptik dan antibakteri alami seperti halnya povidone iodine yang sudah banyak dipakai dalam pengobatan luka dimasyarakat.

2.5 Kerangka Teori

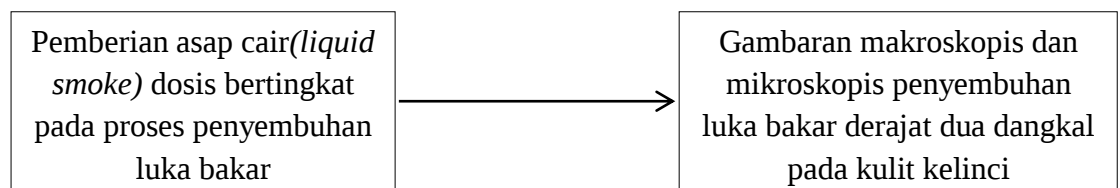


—→ : Proses selanjutnya

----- : Faktor yang mempengaruhi

Gambar 5. Kerangka Teori Penelitian

2.6 Kerangka Konsep



Gambar 6. Kerangka Konsep Penelitian

2.7 Hipotesis

2.7.1. Hipotesis Mayor

Pemberian asap cair (*liquid smoke*) dosis bertingkat memiliki pengaruh terhadap proses penyembuhan luka bakar derajat dua dangkal pada gambaran makroskopis dan mikroskopis kulit kelinci (*Oryctolagus cuniculus*).

2.7.2. Hipotesis Minor

1. Pemberian asap cair (*liquid smoke*) dosis bertingkat dapat mempengaruhi gambaran makroskopis terhadap proses penyembuhan luka bakar derajat dua dangkal pada kulit kelinci (*Oryctolagus cuniculus*).
2. Pemberian asap cair (*liquid smoke*) dosis bertingkat dapat mempengaruhi gambaran mikroskopis terhadap proses penyembuhan luka bakar derajat dua dangkal pada kulit kelinci (*Oryctolagus cuniculus*).
3. Terdapat kesesuaian gambaran makroskopis dan mikroskopis kulit antar kelompok perlakuan dan kelompok kontrol pada kelinci (*Oryctolagus cuniculus*).