

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pembedusan Secara Umum

2.1.1 Definisi Pembedusan

Pembedusan merupakan suatu proses yang dimulai pada beberapa sel dimana sel yang lain masih hidup, proses ini saling bertumpang tindih dan berlanjut sampai beberapa hari. Proses pembedusan pada mayat tergantung terhadap variasi waktu kematiannya, tetapi pada wilayah ber-iklim sedang akan tampak kurang lebih setelah 3 hari kematian pada mayat tanpa pembekuan.^{2,7}

Pembedusan adalah suatu keadaan dimana tubuh mengalami dekomposisi yang terjadi akibat autolisis dan aktivitas bakteri. dekomposisi mencakup dua proses, yaitu: autolisis dan putrefaksi. Autolisis adalah keadaan perlunakan dan pencairan sel dan organ tubuh yang terjadi pada proses kimia yang steril dikarenakan oleh enzim-enzim intraseluler yang dilepaskan oleh sel-sel yang sudah mati. Proses tersebut dapat dipercepat oleh karena suhu tinggi, diperlambat karena suhu rendah, dan dapat dihambat oleh karena pendinginan atau hilangnya aktifitas enzim tersebut karena suhu tinggi. Pada organ yang memiliki banyak enzim, proses autolisis akan berjalan lebih cepat dibandingkan pada organ dengan lebih sedikit enzim.^{2,3,8,9}

Proses kedua dekomposisi adalah putrefaksi, dimana lebih dikenal dengan pengertian pembedusan. Proses ini disebabkan oleh bakteri dan fermentasi.

Setelah mati, flora normal dari sistem pencernaan menyebar keseluruh tubuh menyebabkan terjadinya keadaan busuk.⁸

Pembusukan merupakan proses penghancuran jaringan tubuh yang terutama disebabkan oleh bakteri *Clostridium Welchii*, yang sering ditemukan pada sistem pencernaan. Pada orang yang telah meninggal sistem pertahanan tubuh akan hilang sehingga kuman-kuman pembusuk dapat memasuki pembuluh darah dan menggunakan darah sebagai media kuman untuk berkembang biak yang akan menyebabkan terjadinya proses pembusukan dalam waktu kurang lebih 48 jam setelah mati.²

2.1.2 Mekanisme Pembusukan

Kejadian setelah mati dikenal sebagai dekomposisi mayat. Kerusakan dari jaringan tubuh melalui proses autolisis, putrefaksi, dan decay. Putrefaksi adalah terjadinya degradasi sel atau jaringan tubuh secara anaerob, sedangkan pada decay proses ini terjadi secara aerob. Pada tahap awal terjadinya putrefaksi dimulai dengan autolisis dimana proses ini berlangsung karena sel yang mati dengan adanya enzim-enzim tertentu serta tidak dipengaruhi oleh mikroorganisme.^{2,6}

Pada orang yang telah mati semua sistem pertahanan tubuh hilang maka kuman-kuman pembusuk dapat leluasa memasuki pembuluh darah dan menggunakan darah sebagai media yang sangat baik untuk berkembang biak. Kuman tersebut dapat menyebabkan hemolisis, pencairan bekuan darah yang terjadi sebelum atau sesudah mati, pencairan thrombus dan emboli, perusakan

jarigan-jaringan dan pembentukan gas-gas pembusukan. Proses ini akan mulai tampak kurang lebih 48 jam setelah mati.²

Tanda awal dari pebusukan akan tampak diskolorasi pewarnaan hijau pada kuadran bawah abdomen, bagian kanan lebih sering daripada bagian kiri. Biasanya akan terjadi pada 24-36 jam setelah kematian. Di daerah kuadran kanan bawah, dimana usus besar di daerah tersebut banyak mengandung cairan dan bakteri selain karena letak usus tersebut memang dekat dengan dinding perut. Pewarnaan kehijauan tersebut juga akan terjadi pada daerah kepala, leher, dan bahu. Warna hijau tersebut disebabkan oleh karena terbentuknya sulf-Hb, dimana H₂S yang berasal dari pemecahan protein akan bereaksi dengan Hb yang akan membentuk Hb-S dan Fe-S.^{2,3,8}

Bakteri yang masuk dan berkembang biak pada pembuluh darah menyebabkan hemolisa dengan adanya reaksi hemoglobin dan hydrogen sulfide yang kemudian mewarnai dinding pembuluh darah dan jaringan sekitarnya menjadi hitam kehijauan, proses ini disebut *marbling*. Bakteri ini memproduksi gas-gas pembusukan yang mengisi pembuluh darah menyebabkan pelebaran pada pembuluh darah vena superfisial sehingga pembuluh darah dan cabang-cabangnya nampak lebih jelas seperti pohon gundul (*aborescent pattern* atau *aborescent mark*).^{2,8}

Pada minggu kedua kulit ari akan mudah terlepas bila tergeser atau tertekan karena terbentuknya gelembung-gelembung pembusukan yang merupakan kelanjutan dari perubahan tersebut. Gelembung-gelembung pembusukan berisi cairan merah kehitaman yang disertai bau pembusukan yang

bila dipecah akan tampak pada kulit pada dasar gelembung tersebut licin dan berwarna merah jambu.³

Setelah tiga atau empat minggu rambut akan mudah dicabut, kuku-kuku akan terlepas, wajah akan tampak menggebung dan pucat dengan pewarnaan kehijauan dan akan berubah menjadi hitam kehijauan yang akhirnya akan bewarna hitam, mata akan tertutup erat oleh karena penggembungan pada kedua kelopak mata serta bola mata akan menjadi lunak, bibir akan menggebung dan mencucur, lidah akan menggebung dan terjulur keluar, dan cairan dekomposisi dapat keluar dari hidung.^{2,3,8}

Organ-organ dalam akan membusuk dan kemudian hancur. Organ dalam yang paling cepat membusuk adalah otak, hati, lambung, usus halus, limpa, uterus pada wanita hamil atau masa nifas. Sedangkan organ yang lambat membusuk adalah paru-paru, esophagus, jantung, diafragma, ginjal dan kandung kemih. Organ yang paling lambat membusuk antara lain kelenjar prostat pada laki-laki dan uterus wanita yang tidak sedang hamil ataupun nifas.²

Otak akan menjadi lunak sampai seperti bubur, paru-paru akan menjadi lembek, hati, jantung, limpa dan ginjal akan mudah dikenali. Hati akan menunjukkan gambaran *honey-comb*, limpa lunak dan mudah hancur, otot jantung akan tampak keunguan dan menjadi suram. Pada organ yang paling lama membusuk seperti prostat dan uterus dapat menjadi pertanda untuk menentukan jenis kelamin dari mayat pada keadaan dimana pembusukan sudah berlanjut atau berlangsung lama.^{2,3}

2.1.3 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pembusukan

Menurut Carter, Yellowless, dan Tibbett aktivitas enzim yang dihasilkan oleh bakteri yang menguraikan mayat dapat dipengaruhi oleh temperatur, selain itu perdedaan media dimana mayat berada seperti jenis tanah dapat mempengaruhi proses pembusukan mayat.

Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi waktu proses terjadinya pembusukan mayat dibedakan menjadi dua, yaitu: faktor eksternal dan faktor internal. Faktor eksternal merupakan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi proses pembusukan mayat yang berasal dari luar tubuh mayat, sedangkan faktor internal berasal dari tubuh mayat tersebut.^{2,10}

A) Faktor eksternal, yaitu:

1) Temperatur lingkungan dan tekanan atmosfer

Tekanan atmosfer dan temperature yang tinggi dapat mempercepat proses pembusukan. Proses pembusukan yang paling optimal terjadi pada suhu 70°F-100°F atau setara dengan 21°C-38°C. Pada temperatur yang optimal proses pemecahan kimiawi dari jaringan dan perkembangan mikroorganisme akan membantu terjadinya pembusukan. Pada suhu dibawah 50°F (0°C) atau diatas 100°F (45°C) proses pembusukan menjadi lebih lambat karena terhambatnya pertumbuhan mikroorganisme.^{2,9,10}

2) Kelembaban

Proses pembusukan memerlukan kelembaban udara, pada kondisi dimana kelembaban udara tinggi dapat mempercepat proses pembusukan.²

3) Udara

Pada kondisi angin yang tetap tidak akan membantu evaporasi dari cairan tubuh, dapat mempertahankan kondisi tubuh, serta laju pembusukan. Kandungan oksigen yang berkurang akan memperlambat terjadinya proses pembusukan, oksigen diperlukan oleh bakteri aerob yang mempunyai peran dalam proses pembusukan.¹⁰

4) Pakaian

Pada tubuh yang tertutup pakaian dapat mencegah mikroorganisme masuk kedalam tubuh melalui udara. Saat udara dingin pakaian juga dapat mempertahankan temperatur tubuh sehingga tubuh dapat ditinggali oleh beberapa jenis mikroorganisme.¹⁰

5) Medium dimana mayat berada

Pada medium udara proses pembusukan lebih cepat dibandingkan dengan pada medium air, sedangkan pada medium air proses pembusukan lebih cepat terjadi dibandingkan pada medium tanah. Tanah permukaan memiliki bakteri lebih banyak dan kondisi yang lebih lembab

dibandingkan tanah dalam sehingga pada tanah permukaan pembusukan lebih cepat terjadi dibanding tanah dalam. Jika tubuh terendam air, kecepatan dekomposisi akan melambat karena pendinginan pada tubuh. Sementara jika diangkat dari air dekomposisi akan meningkat karena sudah diencerkan oleh air dan tekanan atmosfer yang tinggi yang akan membantu proses dekomposisi.^{2,9,10}

6) Invasi dari hewan dan serangga

Hewan dan serangga dapat merusak tubuh mayat dan mempercepat pembusukan, dan membantu masuknya bakteri yang dapat mempengaruhi pembusukan mayat.¹⁰

B) Faktor internal, yaitu:

1) Umur

Pada mayat dari orang-orang tua, pembusukan terjadi lebih lambat karena komposisi lemak tubuh yang lebih sedikit, selain itu pembusukan juga lebih lambat terjadi pada mayat bayi yang belum pernah diberi makan karena kuman pembusuk belum masuk kedalam tubuh.²

2) Jenis kelamin

Pada wanita, komposisi tubuh dengan lemak subkutan lebih banyak sehingga dapat sedikit mempercepat terjadinya pembusukan, akan tetapi tidak ditemukan perbedaan lain yang mempengaruhi jenis kelamin.¹⁰

3) Kondisi tubuh

Pada tubuh yang berlemak proses pembusukan terjadi lebih cepat karena jumlah air pada tubuh yang berlemak lebih banyak sehingga memberikan tempat untuk mikroorganisme dapat berkembang.¹⁰

4) Penyebab kematian

Mayat pada penderita penyakit kronis akan lebih cepat membusuk dibandingkan dengan mayat yang mati secara mendadak.² Pada mayat yang mati karena infeksi atau septicemia akan lebih cepat membusuk juga dikarenakan adanya bakteri.¹⁰

5) Perlukaan luar pada tubuh

Perlukaan pada tubuh dapat mempercepat proses pembusukan karena adanya mikroorganisme tambahan yang masuk ke dalam tubuh melalui luka luar tubuh.¹⁰

2.1.4 Teori Pembusukan Yang Berhubungan Dengan Media

Menurut *rule of thumb* (*Casper's dictum*) pembusukan satu minggu pada medium udara setara dengan pembusukan dua minggu pada medium air, sedangkan delapan minggu pada medium tanah pada suhu lingkungan yang sama. Tanah permukaan memiliki bakteri lebih banyak dan kondisi yang lebih lembab dibandingkan tanah dalam sehingga pada tanah permukaan pembusukan lebih cepat terjadi dibanding tanah dalam.^{2,3,9,10,11}

Penguburan mayat pada medium tanah merupakan media yang paling umum ditemukan. Jenazah dapat disimpan pada permukaan atau dikuburkan mempengaruhi terjadinya pembusukan. penguburan jenazah dapat menghalangi kerusakan pada mayat yang terjadi karena aktivitas serangga atau hewan lainnya. Suhu yang berada di atas tanah biasanya lebih tinggi daripada suhu dibawah permukaan tanah menyebabkan pada mayat yang dikuburkan terlindungi dari aktivitas dari cuaca yang dapat merusak jaringan tubuh. Kedalaman dari penguburan mayat juga merupakan faktor yang mempengaruhi proses pembusukan, lebih dalam mayat dikuburkan akan menjaga mayat pada suhu yang stabil dan perlindungan dari faktor-faktor yang mempercepat pembusukan yang berasal dari permukaan tanah. Pada mayat yang dikuburkan dapat menjadikan mayat tersebut lebih susah untuk dikenali.

Menurut Mant mayat yang diletakkan pada peti jenazah yang memiliki kantung udara disekitar mayat. Dibandingkan dengan mayat yang dikuburkan, mayat yang diletakkan pada peti jenazah menunjukkan proses pembusukan lebih cepat. Pakaian dan penguburan mayat memperlambat terjadinya pembusukan.¹²

Suatu penelitian tentang pengawetan mayat menunjukkan mayat wanita berkulit putih yang telah mati enam tahun yang dikuburkan, tidak terdapat perubahan yang mencolok pada luar tubuh serta tidak ditemukan jamur. Pada hasil penilaian organ yang juga diawetkan dalam secara mikroskopis, organ tersebut tetap terawetkan. Pada mayat lainnya, mayat wanita yang juga telah dikuburkan pada jangka waktu yang sama tetapi diletakkan ditengah dimana air dapat masuk pada peti jenazah, menjadikan mayat tersebut hanya tersisa tulang.⁸

2.1.5 Penghambatan Proses Pembusukan Dengan Pembekuan

Cuaca dingin akan memperlambat dan bahkan dapat menghentikan proses pembusukan. pada tubuh yang membeku proses pembusukan tidak akan terjadi sampai mayat tersebut dicairkan. Contoh yang ada yaitu para mammoth yang membeku di Siberia untuk beberapa ribu tahun.

Pembusukan dipercepat oleh mayat obesitas, pakaian tebal, dan sepsis dimana semua hal tersebut menjaga tubuh agar tetap hangat. Pada mayat sepsis waktu kematian 6-12 jam dapat terlihat seperti mayat yang mati setelah 5-6 hari setelah didinginkan.⁸

Menurut Van't Hoff's rule kecepatan dari reaksi kimiawi akan meningkat dua atau bahkan lebih setiap kenaikan suhu 10°C. Proses tersebut akan diperlambat atau bahkan dihambat pada suhu yang sangat dingin atau didinginkan. Pada mayat yang dibekukan proses enzim akan terhambat sehingga akan menghambat terjadinya proses autolisis. Micozzi mengamati bahwa hewan yang dibekukan kemudian dicairkan akan mengalami proses pembusukan dari luar kedalam, sedangkan hewan yang tidak mengalami pembekuan, proses pembusukan akan terjadi dari dalam keluar. Menurut Micozzi tidak terdapat pembusukan pada suhu kurang 4°C. Pada suhu dibawah 12°C, perkembangan bakteri menjadi lebih lambat. Peningkatan suhu akan mempercepat terjadinya pembusukan. pada suhu antara 15 sampai 37°C merupakan saat yang sangat baik bagi bakteri untuk berkembang biak dan jumlah bakteri akan meningkat. Tubuh yang hangat serta kelembaban yang cukup mejadikan proses pembusukan menjadi lebih cepat karena kondisi ini membuat bakteri-bakteri pembusukan tumbuh.⁶

Lemari es atau pendingin merupakan alat untuk mendinginkan mayat yang sering terdapat pada kamar mayat. Pendingin dibagi menjadi dua, yaitu yang mendinginkan pada suhu $+4^{\circ}\text{C}$ dan -20°C sebagai tempat penyimpanan berkepanjangan untuk tubuh. Beberapa pendingin dapat mencairkan material dengan sendirinya, namun beberapa pendingin lain pencairan tubuh mayat dapat dilakukan secara manual. Beberapa faktor seperti suara mesin atau suara bising, bau, atau perubahan temperatur harus tidak terjadi pada proses pendinginan.

Pada beberapa kamar mayat yang mempunyai pendingin dengan suhu -20°C dapat untuk menyimpan mayat selama beberapa bulan, akan tetapi hal ini sangat berbahaya. Seseorang tidak diperbolehkan untuk memasuki pendingin dengan suhu -20°C kecuali ada orang lain yang menjaga di luar pendingin.¹³

2.2.Histopatologi Sel Paru-Paru

Paru-paru terletak pada rongga thorak pada bagian kanan dan kiri. Paru-paru kanan dan kiri masing-masing memiliki jumlah lobus yang berbeda. Paru-paru kanan terbagi menjadi tiga lobus yaitu lobus superior, medial, dan inferior sedangkan pada paru-paru kiri hanya terbagi menjadi dua lobus yaitu lobus superior dan inferior. Tiap lobus dibungkus oleh jaringan elastis yang mengandung arteriola, venula, pembuluh limfe, bronchial venula, duktus alveolaris, sakus alveolaris, dan alveoli. Permukaan yang luas dari paru berfungsi sebagai tempat pertukaran gas.^{9,14}

2.2.1 Alveolus

Alveolus merupakan penonjolan mirip kantung berukuran sangat kecil yang terbuka pada satu sisinya sehingga memiliki gambaran seperti sarang lebah yang terdapat pada bronkiolus respiratorius, duktus alveolaris, dan sakus alveolaris. Alveoli bertanggung jawab atas terbentuknya struktur berongga di paru. Didalam struktur paru-paru tersebut berlangsung pertukaran O₂ dan CO₂ antara udara dan darah. Struktur dinding pada alveoli memudahkan pertukaran udara terjadi antara lingkungan luar dan dalam.⁹

2.2.2 Septum interalveolar

Septum interalveolar merupakan dinding yang terletak diantara dua alveolus yang bersebelahan. Satu septum interalveolar terdiri atas dua lapis epitel gepeng tipis, kapiler, fibroblas, serat elastin dan retikulin, matriks dan sel jaringan ikat diantara kedua lapisan tersebut. Struktur ini menyebabkan septum interalveolaris menjadi sangat fleksibel sehingga pengembangan paru-paru dapat sempurna dan tidak terlalu lunak menjadikan pembuluh darah tidak mudah pecah.¹⁴

Dinding interalveolaris terdiri atas tiga jenis sel yaitu sel endotel kapiler, sel alveolar gepeng (tipe I), dan sel alveolar besar (tipe II). Sel lain yang dapat ditemukan adalah makrofag, leukosit, mastosit, dan fibroblast.^{9,14}

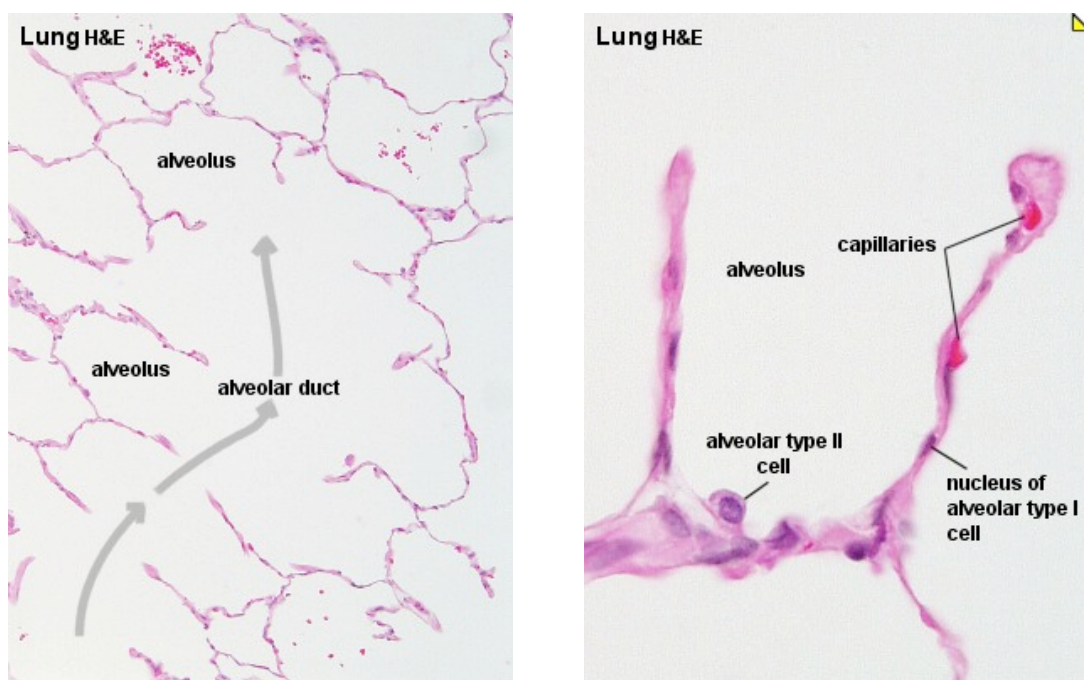
Sel endotel kapiler merupakan sel yang sangat tipis dan bersifat kontinyu. Bekumpulnya inti dan organel lain pada satu tempat menyebabkan sisa daerah sel menjadi sangat tipis sehingga efisiensi pertukaran gas meningkat. Banyaknya

vesikel piknositotik merupakan ciri utama sitoplasma pada bagian sel yang tipis.^{9,14}

Sel alveolar gepeng atau dikenal sebagai sel tipe I, merupakan sel yang melapisi sebagian besar permukaan alveolus yang merupakan sel yang tipis. Disekitar inti berkumpul organel-organel seperti badan golgi, reticulum endoplasma, dan mitokondria yang mengurangi tebalnya sawar udara-darah sehingga sebagian besar daerah sitoplasma hampir bebas dari organel. Pada sitoplasma bagian tipis banyak mengandung vesikel piknositotik yang berperan pada pergantian surfaktan dan pembuangan partikel kontaminan kecil dari permukaan luar. Semua epitel pada sel epitel alveolar gepeng memiliki taut kedap yang berfungsi mencegah perembesan cairan jaringan ke dalam ruang udara alveolus. Fungsi utama sel ini adalah membentuk sawar yang tipis sehingga dengan mudah dapat dilalui oleh gas.^{9,14}

Sel tipe II tersebar di antara sel-sel alveolus tipe I. kedua sel ini saling melekat melalui taut kedap dan desmosome. Sel ini berbentuk bundar dan berkelompok disepanjang permukaan alveolus di tempat pertemuan dinding alveolus yang membentuk sudut. Sel-sel ini melakukan mitosis untuk mengganti populasinya sendiri dan juga mengganti populasi sel tipe I. Badan lamela menghasilkan surfaktan yang menyebar di atas permukaan alveolus dan membentuk lapisan alveolus di luar sel, yang berfungsi untuk menurunkan tegangan permukaan alveolus.⁹

Sel makrofag atau disebut juga dust cell tampak sebagai sel besar, dengan inti oval dan sitoplasma bervakuola. Sel ini terdapat pada dinding alveoli yang merupakan tempat dimana sel ini terbentuk. Lokasinya pada septum interalveolaris, ruang aleoli yang bergerak sampai bronkiolus, dan sel ini berasal dari monosit. Alveoli terbentuk dengan sel penyusunnya yaitu pneumosit tipe I (epitel skuamus simpleks) dan pneumosit tipe II (sel kuboid).¹⁴



Gambar 1. Gambaran histologi paru-paru¹⁵

2.2.3 Sirkulasi paru-paru

Sirkulasi paru-paru terdiri atas pembuluh darah nutrisi dan pembuluh darah fungsional. Pembuluh darah fungsional terdiri atas arteri dan vena pulmonalis. Arteria pulmonalis membawa darah kaya akan CO₂ dari ventrikel kanan jantung yang berjalan bersama dengan bronchus sampai bronkiolus. Pada tingkat duktus alveolaris cabang-cabangnya akan membentuk jaringan kapiler yang yang berhubungan erat dengan epitel alveoli pada septum interalveolaris.

Setelah terjadi pertukaran gas CO₂ dengan gas O₂, maka O₂ akan masuk kedalam darah dibawa oleh kapiler ke vena-vena kecil yang bermuara pada vena pulmonalis pada lobules paru ke vena interlobularis pada septum interlobulus yang selanjutnya vena tersebut akan berjalan bersama bronchus, dari hillus sampai bronkhialus. Sedangkan dalam lobules tidak bersama lagi dengan arteri sampai bronkhialus respiratorius, vena kembali melewati septum interlobularis.

Pembuluh darah nutrisi terdiri dari arteri dan vena bronkhialis. Arteri bronkhialis masuk dalam paru-paru bersama bronchus dan akan bercabang-cabang sampai bronkhialus dan percabangan ini akan beranastomose dengan arteri pulmonalis. Aeteri bronkhialis mendarahi darah untuk septum interaveolaris dan pleura visceralis. Aliran balik dari pembuluh darah nutrisi ini dibawa oleh vena bronkhialis menuju vena pulmonalis.¹⁴

2.2.4 Gambaran histopatologi dekomposisi paru-paru

Gambaran dekomposisi pada paru-paru terlihat epitel yang benar-benar hilang dengan septum alveolaris yang intak. Terdapat residu makrofag intra alveolar. Pelebaran rongga alveolar yang disertai dengan pengembungan dari terminal septum dan masih dapat dikenali tanda stigmata berupa perubahan emfisematous.¹⁶

2.3 Pengaruh Membran Plasma pada Pembusukan

Membran plasma berfungsi memelihara komposisi cairan di dalam dan di luar sel. Semu sel dibungkus oleh membran plasma dimana sebagian besar terdiri

dari lemak, protein dan sedikit karbohidrat. Penampakan membran plasma sebagai struktur trilaminar dapat dilihat menggunakan mikroskop elektron disebabkan oleh susunan molekul yang menyusunnya.

Lapisan lemak ganda akan membentuk batas structural sel yang berfungsi sebagai sawar oleh bahan-bahan yang larut air dan menentukan sifat cair dari suatu membran. Pergerakan fosfolipid yang terdapat diantara kolesterol berperan dalam stabilitas cairan maupun sifat cair membran. Karbohidrat rantai pendek menonjol seperti antenna kecil dari permukaan luar sebagian besar akan mengait protein dan sisanya akan mengait lemak. Kombinasi ini dikenal sebagai glikoprotein dan glikolipid. Sedangkan protein terbenam pada lapis ganda lemak struktur ini dikenal sebagai model mosaik cair.

Protein plasma berfungsi sebagai saluran lewatnya ion kecil untuk menembus membran, memindahkan dan membawa bahan-bahan spesifik keluar dan masuk sel, sebagai akseptor penanda penambatan untuk fusi dengan vesikel sekretorik yang kemudian akan dieksositosis, sebagai enzim yang terkait pada membran untuk mengatur reaksi kimia spesifik, reseptor untuk mendeteksi dan merespon terhadap pembawa pesan kimiawi yang dapat mengubah fungsi sel, dan sebagai molekul yang bertugas untuk merekatkan sel serta sebagai penghubung struktural antara lingkungan ekstrasel dan sitoskeleton intrasel.¹⁷

Proses kimia dekomposisi melibatkan pemecahan protein, karbohidrat, lipid, dan asam nukleat. Proses ini tidak terjadi pada tingkatan yang sama dan dengan demikian beberapa protein terdegradasi selama proses dekomposisi awal,

sementara yang lain terdegradasi selama tahap selanjutnya dari dekomposisi. Selama tahap awal dekomposisi, protein jaringan lunak dipecah.¹⁸

Protein membran mempunyai jenis dan distribusi yang bervariasi pada setiap sel. Peptida dan protein pada alveoli akan terdegradasi oleh protease atau dihilangkan oleh makrofag alveolar. Makrofag paru-paru juga telah menunjukkan untuk mengeluarkan atau melepaskan peroksidase berumur pendek, inflamasi dan imunomodulator mediator (termasuk *granulocyte colony-stimulating factor*, interleukin, leukotrien dan protease), dan molekul lainnya sebagai bagian dari mekanisme pertahanan diri. Molekul-molekul ini mampu mendegradasi peptida dan protein. Lendir yang melapisi epitel paru dengan ketebalan 1-10 pM dan surfaktan yang melapisi alveoli dengan ketebalan 0,1-0,2 pM, merupakan hambatan fisik penyerapan peptida dan protein pada paru-paru, dimana memiliki konsentrasi protease inhibitor tinggi, dan mungkin melindungi peptida dan protein dari degradasi.^{17,19}

Niven mengidentifikasi bahwa lendir pernapasan, *mucociliary clearance*, lapisan lapisan alveolar, epitel alveolar, membran basalis, enzim paru, makrofag dan sel lain sebagai hambatan untuk penyerapan paru. Meskipun epitel alveolar dan kapiler endotelium memiliki permeabilitas yang tinggi terhadap air, banyak gas dan zat lipofilik, dan perembesan dari banyak substansi zat hidrofilik pada molekul ukuran besar dan spesies ion yang terbatas.¹⁹

2.4 Patologi Sel (Lisis Sel)

Pada kondisi normal sel berada dalam keadaan homeostasis, dimana terdapat keseimbangan antara sel dengan lingkungan sekitarnya. Pada cedera sel perubahan biokimiawi dan morfologi sel akan berubah menyebabkan homeostasis mengalami gangguan.²⁰

2.4.1 Cedera Sel

Trauma serta cedera karena suhu dapat mengakibatkan kematian sel, sobeknya sel, serta denaturasi protein, dan dapat menyebabkan thrombosis vaskuler local yang mengakibatkan terjadinya infark atau iskemia.

Mekanisme cedera sel terbagi dua, yaitu reversible dan irreversible melalui berbagai cara. Efek pada jaringan bergantung pada lamanya cedera, sifat alami penyebab cedera, proporsi dan jenis sel yang terkena cedera, dan kemampuan tiap jaringan untuk melakukan regenerasi.

Terdapat dua gambaran sel setelah cedera pada perubahan seluler sublethal yang umum terlihat adalah perubahan hidropik yaitu pada sel-sel yang sitoplasmanya menjadi pucat dan bengkak dikarenakan pemimbunan cairan dan perubahan lemak yang terjadi karena penimbunan tetesan lipid akibat gangguan fungsi ribosom dan *uncoupling* lipid dari metabolisme protein yang sering menyebabkan vakuolisasi pada sel.²¹

2.4.2 Kematian Sel

Pada makhluk hidup, jejas ireversibel akan diikuti dengan kematian sel karena sel sudah tidak dapat mengkompensasi bahaya serta tidak dapat melangsungkan metabolisme, dimana di dalam sel akan terjadi reaksi degradatif berupa autolisis yaitu penghancuran sel oleh enzim intraseluler, misalnya protease dan lipase atau heterolisis yaitu penghancuran oleh enzim dari luar sel misalnya dari bakteri dan leukosit. Kematian sel didalam organisme hidup disebut dengan nekrosis yang merupakan kematian sel lokal. Sedangkan kematian sel yang terjadi pada seluruh tubuh setelah kematian seseorang disebut sebagai autolisis post mortem, dan tidak merupakan nekrosis.^{20,22,23}

Jenis jaringan dan sifat dari penyebabnya menentukan jenis nekrosis. Dimana nekrosis dikenal dengan beberapa jenis yang berbeda-beda yaitu nekrosis koagulativa, kolikuativa, kaseosa, gangren, fibrinoid, dan nekrosis lemak.^{20,23}

Nekrosis koagulativa merupakan bentuk nekrosis yang paling sering terjadi dan dapat ditemukan pada hampir seluruh organ, terutama pada jaringan. Jika kegiatan enzim-enzim litik dihambat oleh keadaan lokal, maka sel-sel nekrotik itu akan mempertahankan bentuk mereka, dan jaringannya akan mempertahankan ciri morfologinya untuk beberapa waktu.

Nekrosis kolikuativa terutama timbul pada otak karena tidak ditemukan bahan penyokong apapun dalam stromanya, sehingga jaringan saraf yang nekrotik akan lebih cenderung mengalami pencairan total. Reaksi glial di sekeliling terpi dapat terjadi dan daerah nekrosis akan tampak seperti kista.

Nekrosis kaseosa pada tuberculosis merupakan bentuk nekrosis dimana jaringan yang mati kehilangan sama sekali strukturnya. Gambaran pada pewarnaan histopatologi akan terlihat daerah amorf berwarna eosinofilik disertai bintik hematoksifilik pecahan inti.

Pada nekrosis yang disertai pembusukan akan terbentuk gangren yang disebabkan oleh karena kerja kuman tertentu, misalnya klostridia. Pada infeksi primer dengan bakteri tertentu atau campuran bakteri dapat juga menyebabkan keadaan yang serupa dengan nekrosis yang disertai dengan pembusukan.

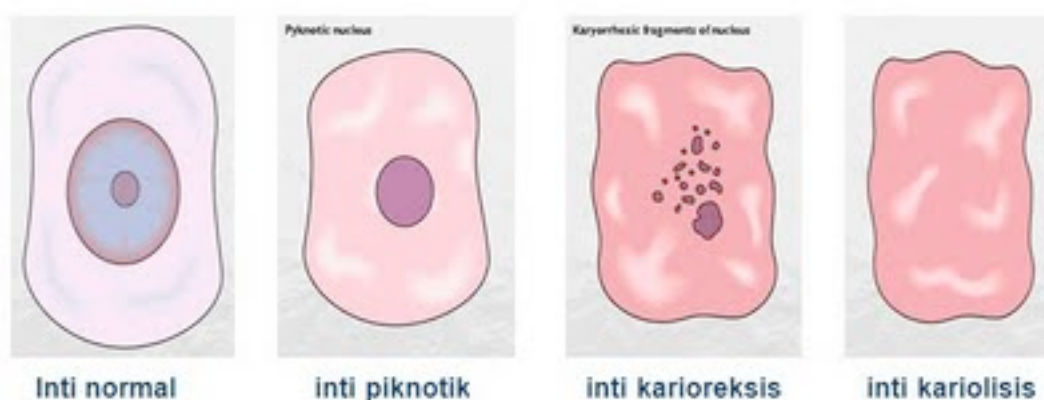
Pada hipertensi maligna, arteriol mengalami tekanan sehingga dinding otot polosnya mengalami nekrosis, pada keadaan inilah disebut sebagai nekrosis fibrinoid. Hal tersebut menyebabkan plasma akan merembes ke dalam lapisan media dengan akibat terjadinya penimbunan fibrin.

Nekrosis lemak dapat disebabkan oleh trauma langsung pada jaringan lemak dan pelepasan ekstraseluler dan lisis enzimatik jaringan lemak yang disebabkan oleh pelepasan enzim lipase. Setelah proses tersebut terjadi akan timbul proses radang dengan polimorf dan makrofag yang akan memfagositosis lemak yang akan menjadi fibrosis. Sebagai hasilnya akan dapat teraba massa terutama pada daerah superfisial.²¹

Sel mengalami jejas ireversibel mempunyai karakteristik yaitu sel rusak atau sobeknya membrane, fragmentasi, kalsifikasi, dan struktur myelin dengan membrane yang rusak tersusun sebagai gulungan lembaran konsentrik. Mitokondria akan dilahap (autofagosom) dan dihancurkan. Proses yang terjadi pada mitokondria pada sel yang terjejas diawali dengan mitokondria normal

mempunyai dua membrane dan kista yang akan terjadi pembengkakan, cairan akan terkumpul di bagian dalam dan di antara membrane mitokondria luar dan dalam. Lalu akan terjadi rupture mitokondria, selanjutnya terjadi kerusakan pada gulungan membrane mitokondria dan akhirnya terjadi kalsifikasi dari sisa-sisa mitokondria.²²

Sel yang mengalami kematian mempunyai perubahan pada inti yang tipikal, yaitu piknosis, karioreksis, dan kariolisis. Keadaan dimana inti sel yang mati akan menyusut, batasnya tidak teratur, dan berwarna gelap dengan zat warna biasanya digunakan oleh para ahli patologi, serta terdapat penggumpalan kromatin. Proses ini disebut sebagai piknosis dengan intinya yang disebut piknotik. Sedangkan karioreksis adalah inti hancur, dan meninggalkan pecahan-pecahan zat kromatin yang tersebar di dalam sel. Pada akhirnya inti sel yang mati akan kehilangan kemampuan untuk diwarnai dan kromatin menjadi lisis (menghilang), proses inilah yang disebut kariolisis. Tanda histologik nekrosis sama dengan jejas sel ireversibel seperti yang telah dikemukakan.^{22,23}



Gambar 2. Perubahan inti pada kematian sel²⁴

Akibat yang terjadi dari nekrosis yang paling nyata adalah hilangnya fungsi daerah yang mati, akan tetapi pada sebagian jaringan yang mati saja dengan adanya cadangan yang besar mungkin tidak akan mempengaruhi fungsional tubuh. Akan tetapi jika daerah nekrosis berada di otak, maka akibatnya adalah defisit neurologis yang hebat atau bahkan mungkin dapat menyebabkan kematian.²³