

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

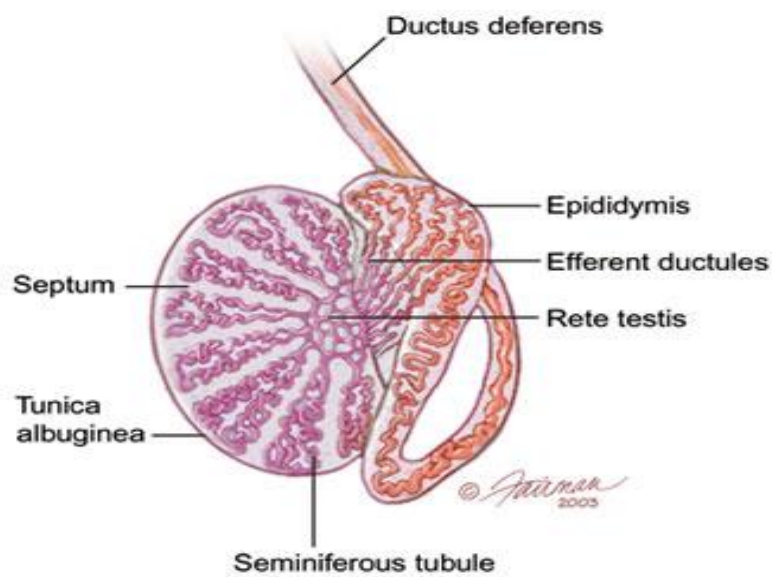
2.1 Testis

2.1.1 Anatomi

Dalam bahasa Yunani testis disebut orchis. Testis secara anatomi merupakan bagian pars genitalies masculina interna. Testis berfungsi untuk menghasilkan spermatozoa dan juga sebagai kelenjar endokrin yang menghasilkan hormon androgen yang berguna untuk mempertahankan tanda-tanda kelamin sekunder. Testis bersama tunica vaginalis propria terletak dalam cavum scroti, letak testis normal sebelah kiri lebih rendah jika dibandingkan dengan sebelah kanan.⁵

Struktur anatomi testes jika dipotong dari margo anterior ke margo posterior maka akan terlihat tunica albuginea. Tunica albuginea ini memberi lanjutan-lanjutan ke dalam parenchim testis, yang disebut septula testis. Septula testis ini membagi testis menjadi beberapa lobus testis. Pada daerah dekat margo posterior yang tidak dicapai oleh septula testis, tersusun atas jaringan ikat fibrosa yang memadat yang disebut mediastinum testis. Parenkim testis yang terletak dalam lobulus testis terdiri atas tubulus seminiferus contortus, ini merupakan daerah yang nampak seperti benang-benang halus yang berkelok-kelok. Tubulus seminiferus yang mendekati mediastinum testis bergabung membentuk tubulus seminiferi recti.⁵

Beberapa tubulus seminiferi recti memasuki mediastinum dan berhubungan satu sama lain, sehingga membentuk anyaman yang disebut rete testis. Dari rete testis dibentuk saluran-saluran yang memasuki caput epididimis yang disebut ductus efferen testis.⁶



Gambar 2.1. anatomi testis⁷

2.1.2 Histofisiologi

Secara histologi genitalia pria terdiri atas testis, duktus genitalis, kelenjar-kelenjar tambahan dan penis. Testis merupakan kelenjar tubuler kompleks yang dua fungsi yaitu untuk reproduksi dan hormonal.

Tubulus seminiferus, merupakan bagian testis yang berisi sel berlapis kompleks, bergaris tengah sekitar 150-250 um dan panjang 30-70 cm. Tubulus seminiferus dapat bercabang berujung buntu. Pada ujung-ujung apikal tiap tubulus, lumen menyempit dan epitel yang membatasi dengan segera berubah menjadi lapisan selapis kubis yang mempunyai satu flagela. Segmen yang pendek

ini dikenal sebagai tubulus rectus, menghubungkan tubulus seminiferus dengan saluran-saluran anastomose yang dibatasi oleh epitel labirin, rete testis. Rete testis yang terdapat dalam jaringan penyambung mediastinum dihubungkan dengan bagian sefalik epididimis oleh 10-20 ductus efferen, yang nantinya didistal menyatu pada duktus epididimis.⁶

Tubulus seminiferus terdiri atas unsur-unsur berikut :

1. Tunika fibrosa

Terdiri atas beberapa lapisan fibroblas. Lapisan paling dalam yang melekat pada jaringan penyambung dekat dengan lamina basalis.

2. Lamina basalis yang berbats tegas

3. Epitel germinativum

Pada daerah epitel germinativum terdapat 2 jenis sel yaitu sel-sel sertoli (penyongkong) dan sel-sel yang merupakan turunan spermatozoatogenik atau seminal.

Pada tubulus seminiferus terjadi proses spermatozoatogenesis dan dapat dibagi menjadi 3 fase :

1. Spermatozoatogenesis, dimana spermatozoatogonia membelah berturut-turut menghasilkan keturunan sel yang akhirnya menghasilkan spermatozoatosit.

2. Meiosis, dimana spermatozoatosit mengalami 2 pembelahan yang berurutan dengan pengurangan setengan jumlah kromosom dan jumlah DNA persel menghasilkan spermatozoatid.

3. Spermiogenesis, dimana spermatozoatid melalui suatu proses sitodiferensiasi yang rumit menghasilkan spermatozoa.^{5,6}

Proses spermatogenesis dimulai dari sel spermatogonium yang terletak dibasal dengan bentuk sel yang besar dengan inti besar dan sitoplasma pucat. Proses spermatogenesis ini berlangsung lambat dan terjadi tidak secara sinkron pada semua tubulus seminiferus, sehingga tiap daerah menunjukkan fase spermatogenesis yang berbeda. Hal tersebut mengakibatkan spermatozoa ditemukan dalam beberapa tubulus seminiferus dan hanya spermatid pada tubulus seminiferus lainnya. Sel-sel tersebut mengalami serangkaian mitosis berurutan dan sel-sel yang baru terbentuk dapat mengikuti salah satu dari dua jalan, yaitu menjadi spermatogonia A yaitu spermatogonium yang tetap setelah satu pembelahan mitosis atau lebih dan sebagian sel tersebut juga dapat menjadi spermatogonia B yang berpotensi meneruskan perkembangannya, yang tumbuh menghasilkan spermatosit primer.⁶

Spermatosit primer memiliki bentuk yang lebih besar dibandingkan sel spermatogonia dengan inti tanpa dinding dan kromosom tercat jelas. Setelah terbentuk spermatosit primer terbentuk, sel-sel tersebut dalam fase profase pembelahan meiosis pertama. Pada permulaan pembelahan meiosis pertama, spermatosit primer mempunyai 46(44+XY) kromosom dan DNA sejumlah 4N. Pada tahap profase melewati 4 stadium leptoten, zigoten, pakiten dan diploten dan mencapai stadium diakinesis menghasilkan pemisahan kromosom. Tahap profase ini memerlukan waktu sekitar 22 hari.⁶

Hasil pembelahan meiosis pertama ini adalah sel-sel yang lebih kecil yang disebut spermatosit sekunder (masing-masing dengan 23 kromosom ganda) dan diikuti dengan pengurangan jumlah DNA persel (dari $4n$ menjadi $2n$). Spermatosit sekunder ini secara histologis sulit ditemukan karena berada dalam interfase yang sangat singkat dan cepat. Sebagai hasil dari pembelahan meiosis kedua, sel spermatosit sekunder akan menghasilkan spermatid (masing-masing dengan 23 kromosom tunggal) yang bersifat haploid. Sel spermatid ini memiliki ciri ukuran sel yang kecil, sitoplasma sedikit, berada lebih ditengah dibanding spermatosit sekunder, berbentuk lonjong. Dengan terbentuknya spermatid maka proses spermatogenesis berakhir, kemudian sel spermatid tersebut akan mengalami proses diferensiasi yang kompleks yang disebut spermiogenesis, yang akan menghasilkan perubahan spermatid menjadi spermatozoa. Spermatozoa ini secara histologi merupakan sel kecil yang berbentuk seperti tanda seru, runcing pada bagian ujung, dan mengisi daerah tengah lumen. Sel spermatozoa ini memiliki empat bagian yaitu kepala, akrosom, bagian tengah, dan ekor. Bagian kepala terdiri dari nukleus yang mengandung informasi genetik. Akrosom suatu vesikel yang berisi enzim yang digunakan untuk menembus ovum. Mobilitas spermatozoa dihasilkan oleh ekor, pergerakan pada ekor terjadi akibat pergeseran relatif mikrotubulus-mikrotubulus konstituennya. Pergeseran tersebut dijalankan oleh energi yang dihasilkan oleh mitokondria yang terkonsentrasi dibagian tengah spermatozoa.⁸

Pada sistem reproduksi pria selain testis dirancang untuk menyalurkan sperma ke reproduksi wanita. Pada dasarnya sistem reproduksi diluar testis terdiri dari :

1. Suatu saluran berkelok-kelok yang mengangkut sperma dari testis keluar tubuh.
2. Beberapa kelenjar mensekresi zat yang penting untuk viabilitas dan motilitas sperma.
3. Penis dirancang untuk menembus dan meletakkan sperma didalam vagina wanita.

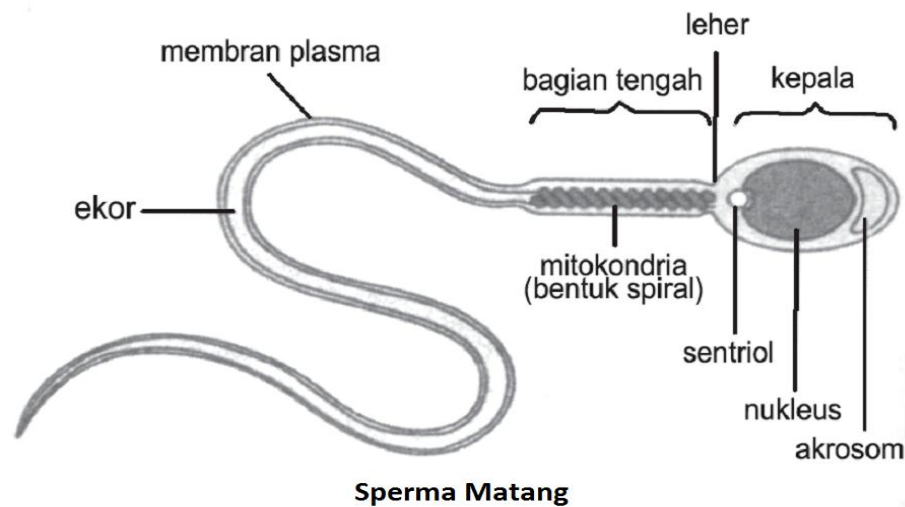
Setelah sperma dihasilkan ditubulus seminiferus, sperma akan disapu kedalam epididimis sebagai akibat adanya tekanan – tekanan yang diciptakan oleh sekresi cairan tubulus secara terus-menerus oleh sel sertoli. Kemudian duktus epididimis dari setiap testis menyatu untuk membentuk sebuah saluran berdinding tebal dan berotot yang disebut duktus deferens. Duktus-duktus tersebut melaksanakan beberapa fungsi penting sebagai jalan keluar sperma dari testis. Sewaktu keluar meninggalkan testis, sperma belum mampu bergerak atau membuahi. Sperma memperoleh kedua kemampuan tersebut dalam perjalanannya melintasi epididimis.

Di epididimis proses pematangan sperma ini dirangsang oleh hormon testosteron yang tertahan didalam cairan tubulus oleh protein pengikat androgen. Kapasitas sperma semakin ditingkatkan oleh pajanan ke sekresi saluran saluran reproduksi wanita. Selain itu epididimis juga memekatkan sperma beberapa ratus kali lipat dengan sebagian besar cairan yang masuk tubulus seminiferus. Sperma

matang secara perlahan bergerak melintasi epididimis kedalam duktus deferens akibat kontraksi ritmik otot polos didinding saluran tersebut.

Duktus deferens berfungsi sebagai tempat penyimpanan sperma yang penting karena sperma yang terkemas rapat relatif inaktif dan kebutuhan metaboliknya juga rendah, sperma dapat disimpan dalam duktus deferens selama beberapa hari meskipun tidak terdapat pasokan nutrisi dari darah dan sperma hanya mendapat makanan dari gula-gula sederhana yang dapat disekresi tubulus.

Selain saluran-saluran diatas juga terdapat kelenjar seks tambahan yang berpengaruh pada motilitas sperma yaitu vesikula seminalis. Pada vesikula seminalis dihasilkan fruktosa yang berfungsi sebagai sumber energi utama untuk sperma yang dikeluarkan, selain itu vesikula seminalis juga mengeluarkan prostaglandin yang merangsang kontraksi otot polos disaluran reproduksi pria dan wanita, sehingga sperma lebih mudah dipindahkan ketempat pembuahan oviduk wanita. Fungsi yang lain membentuk lebih dari separuh semen, yang membantu menggelontor sperma kedalam urethra dan juga mengencerkan massa sperma yang kental sehingga motilitas sperma meningkat dan yang terakhir menghasilkan fibrinogen untuk pembekuan cairan semen.⁸



Gambar 2.2. struktur spermatozoa⁹

Selain sel spermatozoa pada testis juga terdapat sel sertoli. Sel sertoli ini memiliki bentuk piramida, inti polimorf dan pucat, melekat pada lamina basalis, sedangkan bagian ujungnya menjorok kedalam lumen tubulus seminiferus. Sel-sel sertoli tersebut memiliki fungsi sebagai berikut :

1. Sebagai sawar darah-testis, yaitu untuk mencegah bahan-bahan yang terdapat didalam darah masuk kedalam lumen tubulus, sehingga hanya molekul-molekul tertentu yang mampu melewati sel sertoli yang dapat mencapai cairan lumen. Selain itu juga untuk mencegah sel-sel penghasil antibodi dicairan ekstra sel mencapai lumen tubulus penghasil spermatozoa, hal ini bertujuan untuk mencegah pembentukan antibodi terhadap spermatozoa.
2. Sel sertoli sebagai penyokong, pelindung dan pengatur yang sedang berkembang.

3. Sel sertoli berperan untuk fagositosis. Selama spermatogenesis sitoplasma spermatid yang berlebihan dibuang sebagai badan-badan residu. Fragmen sitoplasma ini difagosit, dihancurkan, dan selanjutnya direasorpsi oleh lisosom sel sertoli.
4. Sel sertoli mengsekresikan ke dalam tubulus seminiferus cairan yang mengalir ke arah duktus genitalis dan digunakan untuk transport spermatozoa. Selain itu sel sertoli menghasilkan protein pengikat androgen (*androgen binding protein*). Protein tersebut mengikat androgen (yaitu testosteron) sehingga kadar hormon ini di dalam tubulus seminiferus tetap tinggi.
5. Sel sertoli adalah tempat kerja testosteron dan *follicle stimulating hormon* (FSH) untuk mengontrol spermatogenesis.^{9,10}

Pada tubulus seminiferus selain terdapat spermatozoa dan sel sertoli juga terdapat sel leydig. Sel leydig ini terletak di jaringan intersisial pada tubulus seminiferus. Sel ini menghasilkan hormon testosteron yang bertanggung jawab terhadap perkembangan kelamin sekunder.

Pada testis secara histologi juga terdapat tubulus rektus, rete testis dan duktus eferen. Tubulus rektus berada di antara tubulus seminiferus dengan daerah mediastinum testis terdapat saluran-saluran kecil yang disebut tubulus rektus. Tubulus rektus berlanjut sebagai rete testis. Rete testis tidak berbentuk saluran rata atau lurus tetapi berupa ruangan dengan dinding yang ireguler. Rete testis terletak di daerah mediastinum dan dindingnya dilapisi oleh epitel skuamus simpleks. Kemudian dari testis akan berlanjut ke duktus eferen, yang merupakan saluran

yang menghubungkan rete testis dengan epididimis. Saluran duktus eferen dilapisi 2 jenis sel yakni sel kolumner bersilia (silia berbentuk stereosilia, dapat bergerak) dan sel kuboid yang menghasilkan cairan.

2.2 Faktor-faktor yang mempengaruhi motilitas spermatozoa

Banyak sekali faktor-faktor yang mempengaruhi motilitas spermatozoa baik yang bersifat endogen maupun eksogen. Faktor endogen merupakan keadaan individu spermatozoa itu sendiri yang erat kaitannya dengan umur spermatozoa, tingkat maturasi spermatozoa meliputi morfologi, faali dan sifat-sifat biokimia, juga faktor yang menyangkut pengadaan energi misalnya transport melalui membran spermatozoa, sumber nutrisi fruktosa dan juga kontraksi otot polos pada duktus-duktus disaluran reproduksi. Duktus-duktus tersebut melaksanakan beberapa fungsi penting sebagai jalan keluar sperma dari testis. Sewaktu keluar meninggalkan testis, sperma belum mampu bergerak atau membuahi. Sperma memperoleh kedua kemampuan tersebut dalam perjalanannya melintasi epididimis. Diepididimis terjadi proses pematangan sperma yang dirangsang oleh hormon testosteron yang tertahan didalam cairan tubulus oleh protein pengikat androgen. Selain itu epididimis juga memekatkan sperma beberapa ratus kali lipat dengan sebagian besar cairan yang masuk tubulus seminiferus. Sperma matang secara perlahan bergerak melintasi epididimis ke dalam duktus deferens akibat kontraksi ritmik otot polos dinding saluran tersebut.¹⁰

Duktus deferens berfungsi sebagai tempat penyimpanan sperma yang penting karena sperma yang terkemas rapat relatif inaktif dan kebutuhan metaboliknya juga rendah, sperma dapat disimpan dalam duktus deferens selama

beberapa hari meskipun tidak terdapat pasokan nutrisi dari darah dan sperma hanya mendapat makanan dari gula-gula sederhana yang dapat disekresi tubulus.

Selain saluran-saluran di atas juga terdapat kelenjar seks tambahan yang berpengaruh pada motilitas sperma, yaitu vesikula seminalis. Pada vesikula seminalis dihasilkan fruktosa yang berfungsi sebagai sumber energi utama untuk sperma yang dikeluarkan, selain itu vesikula seminalis juga mengeluarkan prostaglandin yang merangsang kontraksi otot polos disaluran reproduksi pria dan wanita, sehingga sperma lebih mudah dipindahkan ketempat pembuahan oviduk. Menurut Gardier Nurman (1995) dan Affandi dan Muhammad (2002) melaporkan bahwa semen yang encer banyak mengandung glukosa, sehingga memberikan motilitas yang baik terhadap spermatozoa. Pergerakan sperma normal adalah seperti linier, biasanya pada pergerakan berbentuk spiral.

Faktor eksogen adalah faktor lingkungan yang berbeda diluar membran spermatozoa, antara lain faktor biofisika dan faali meliputi viskositas, pH, temperatur, dan komposisi ion dalam media yang ada disekelilingnya. Daya tahan hidup spermatozoa dipengaruhi oleh pH, tekanan osmotik, elektrolit dan non elektrolit, suhu dan cahaya. Pada umumnya sperma sangat aktif dan tahan hidup lama pada pH sekitar 7. Motilitas partial dapat dipertahankan pada pH 5 dan 10. Suhu mempengaruhi daya tahan hidup, peningkatan suhu akan meningkatkan kadar metabolisme sehingga dapat mengurangi daya tahan hidup sperma. Demikian juga cahaya matahari yang langsung mengenai spermatozoa akan memperpendek usia sperma. Terdapat hubungan antara volume semen dengan motilitas spermatozoa, yaitu semakin encer cairan semen maka motilitas

spermatozoa semakin tinggi karena spermatozoa memperoleh makanan yang cukup dari plasma semen. Sebab semakin encer cairan semen maka kadar sodium yang terdapat dalam semen semakin tinggi, sehingga motilitas dan fertilitas spermatozoa semakin tinggi.

2.3 Thanatologi

Thanatologi berasal dari kata thanatos (mati) dan logos (ilmu).

Thanatologi adalah ilmu yang mempelajari segala macam aspek yang berkaitan dengan mati, meliputi definisi, cara-cara melakukan diagnosa dan perubahan-perubahan yang terjadi sesudah mati.

2.4 Kematian somatik

Kematian manusia dapat dilihat dari 2 dimensi, yaitu kematian manusia sebagai individu (mati somatik) dan sebagai kumpulan dari berbagai macam sel (mati seluler) .

Kematian somatis didefinisikan secara sederhana sebagai berhentinya kehidupan secara permanen, dalam hal ini fungsi berbagai organ-organ vital (paru, jantung, otak) sebagai satu kesatuan utuh, ditandai oleh berhentinya konsumsi oksigen.

2.4.1 Kematian Somatik

2.4.1.1 Tanda kematian tidak pasti

1. Pernafasan berhenti ,dinilai selama lebih dari 10 menit (inspeksi, palpasi, dan auskultasi)
2. Sirkulasi berhenti dinlai selama 15 menit , nadi karotis tidak teraba

3. Perubahan pada kulit
4. Segmentasi pembuluh darah retina beberapa menit sebelum kematian. Segmen-segmen tersebut bergerak kearah tepi retina menetap.
5. Pengeringan kornea yang menimbulkan kekeruhan dalam waktu 10 menit yang masih dapat dihilangkan dengan meneteskan air.¹¹

2.4.1.2 Tanda Kematian Pasti

1. Lebam mayat (Livor mortis)

Terjadi karena ada pengendapan eritrosit sesudah kematian akibat berhentinya sirkulasi dan adanya gravitasi bumi. Eritrosit akan menempati bagian terbawah badan dan terjadi pada bagian yang bebas dari tekanan. Muncul pada menit ke-30 sampai dengan 2 jam, kemudian intensitas lebam mayat meningkat dan menetap 8-12 jam.¹¹

Darah tidak mempunyai karakteristik yang khas dalam menentukan mekanisme kematian, meskipun beberapa buku mengatakan bahwa darah akan sulit membeku dalam waktu lama pada kematian yang disebabkan oleh asfiksia. Distribusi pada lebam mayat penting karena akan menunjukkan adanya pemindahan jasad korban setelah meninggal berupa pola sekunder. Tetapi waktu pemindahan jenazah sulit untuk diperkirakan secara akurat. Dalam perkembangan lebam mayat terlalu banyak memiliki variabel, sehingga keakuratannya menjadi berkurang.

2. Kaku mayat (Rigor mortis)

Dengan berhentinya sistem respirasi dan vaskuler maka jaringan dalam keadaan anoksik, sehingga semua fungsi yang bergantung oksigen pada jaringan berhenti. Beberapa saat setelah kematian serabut-serabut otot berkontraksi dan mempertahankan posisi tersebut untuk beberapa saat sebelum terjadi relaksasi secara pasif. Kaku mayat secara biokimiawi, yaitu pemecahan ATP menjadi ADP. Selama masih ada phosphocreatinin hasil dari pemecahan glikogen, maka ADP dapat disintesis kembali menjadi ATP. Jika ketersediaan glikogen otot habis, maka resintase tidak terjadi sehingga terjadi penumpukkan ADP yang akan menyebabkan otot menjadi kaku.

Keadaan – keadaan tersebut bergantung pada faktor eksternal (suhu udara sekitar, aktivitas otot sebelum mati, umur) dan internal (tergantung pada kemampuan otot untuk mempertahankan tingkat yang adekuat dari ATP, karena ATP menghambat aktivasi ikatan antara actin dan myosin. Serta persediaan glikogen untuk diproses melalui glikolisis anaerobik.

Knight mengatakan bahwa penggunaan rigor mortis dalam penentuan waktu kematian tidak akurat. Karena dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti suhu lingkungan dan aktivitas sebelum kematian. Rigor mortis akan terjadi secara cepat pada suhu

lingkungan dibawah 10°C tetapi jika suhu lingkungan meningkat rigor mortis terjadi secara normal.

3. Penurunan suhu tubuh (Algor mortis)

Suhu mati, proses metabolisme masih berlangsung untuk beberapa saat sehingga masih diproduksi kalori yang mempertahankan suhu tubuh. Untuk 30-60 menit pertama, suhu mayat tidak mengalami penurunan, baru setelah itu suhu turun sampai sama dengan suhu sekeliling.^{11,12}

Kecepatan penurunan suhu dipengaruhi suhu sekeliling aliran dan kelembaban udara, bentuk tubuh, posisi tubuh pakaian. Kesalahan dalam menentukan lama waktu kematian berdasarkan penurunan suhu tubuh sering terjadi walaupun yang melakukan pemeriksaan adalah orang yang ahli dalam bidangnya. Pemeriksaan suhu rectal sering tidak akurat karena banyak faktor yang mempengaruhi seperti suhu lingkungan, metode ini sekarang tidak direkomendasikan lagi.

4. Pembusukkan (Dekomposisi)

Pembusukkan terjadi terutama dari faktor internal yaitu proses otolisis sel dan invasi bakteri usus, terutama *Clostridium welchii*. Selain faktor internal ada faktor eksternal yang bisa mempercepat proses pembusukkan luka yaitu keberadaan serangga dan hewan pemakan bangkai. Bila dibiarkan diudara bebas maka serangga akan lebih mudah untuk meletakkan telurnya dan dalam waktu 8-

12 jam larva sudah menetas dan mulai hidup didalam jaringan otot manusia. Selain itu serangga seperti kecoa juga dapat memakan jasad, hewan pengerat juga bisa merusak jasad. Sedangak didalam air faktor-faktor seperti larva dan hewan pengerat dapat dikurangi tapi masih ada hewan golongan crustacea dan ikan tertentu yang memakan jasad mayat yang berada di air. Bila dikuburkan maka faktor-faktor eksternal bisa dihambat dan selain itu suhu dalam tanah cenderung lebih rendah sehingga bisa memperlambat proses otolisis sel.

Banyak variasi dari laju dan onset pembusukkan. Dimana media mayat berada juga memegang peranan penting dalam kecepatan pembusukkan mayat. Kecepatan pembusukkan ini digambarkan dalam rumus klasik Casper dengan perbandingan tanah : air : udara = 1 : 2 : 8 artinya mayat yang dikubur ditanah umumnya membusuk 8x lebih lama daripada mayat yang terdapat diudara terbuka. Ini disebabkan suhu didalam tanah yang lebih rendah terutama dikubur ditempat yang lebih dalam, terlindung dari binatang dan insekta dan rendahnya oksigen menghambat berkembang biaknya organisme aerobik.¹³

2.5 Suhu

2.5.1 Definisi Suhu

Suhu adalah suatu besaran yang menyatakan ukuran derajat panas atau dingin suatu benda. Suhu ini menjelaskan ukuran rata-rata energi kinetik

partikel-partikel di dalam suatu bahan, dan terkait dengan panasnya atau dinginnya suatu benda. Untuk mengetahui pasti dingin atau panasnya suatu benda, diperlukan suatu besaran yang dapat diukur dengan alat ukur.

2.5.2 Pengaruh Suhu Terhadap Motilitas spermatozoa

Suhu memiliki peranan dalam mempengaruhi motilitas spermatozoa. Secara teoritis suhu udara yang menurun akan mempengaruhi motilitas spermatozoa menjadi lebih lama dan suhu yang meningkat akan mengakibatkan motilitas spermatozoa menjadi lebih cepat berhenti. Pada suhu dingin motilitas spermatozoa akan bertahan lebih lama akan tetapi kualitas sperma menurun dengan dipengaruhi lamanya waktu penyimpanan.

Hal ini disebabkan oleh proses metabolisme yang terjadi selama penyimpanan. Meskipun metabolisme dihambat pada penyimpanan suhu rendah, tetapi metabolisme masih tetap terjadi. Menurut Best (2006), dalam proses metabolisme spermatozoa akan dihasilkan hasil akhir radikal bebas berupa derivat oksigen diantaranya adalah singlet oxygen, triplet oxygen, superoxide anion, hydroxylradical dan nitric oxide yang keseluruhannya disebut dengan reactive oxygens pecies. Singlet oxygendapat merusak ikatan rangkap pada asam lemak sehingga dapat menyebabkan kerusakan pada DNA dan protein spermatozoa. Dengan menurunkan suhu penyimpanan sampai $4-5^{\circ}\text{C}$, metabolisme akan dihambat dan dapat mempertahankan hidup spermatozoa lebih lama dibandingkan dengan penyimpanan pada suhu ruangan.^{14,15}

Temperatur merupakan salah satu penyebab terjadinya peningkatan laju metabolisme dan daya tahan sperma menurun bila terjadi peningkatan temperatur semen. Menurut WHITE (1993) dalam proses preservasi semen pada suhu rendah

(umumnya pada suhu 3–5⁰C dan -196⁰C) kerusakan spermatozoa akan terjadi akibat adanya pengaruh kejutan dingin (*cold shock*) yang dapat merusak membran plasma sel dan berakibat kematian spermatozoa.

Pada keadaan sesudah mati, metabolisme yang menghasilkan panas akan terhenti sehingga suhu akan turun menuju suhu udara atau medium disekitarnya. Penurunan ini disebabkan oleh adanya proses radiasi, konduksi, dan pancaran panas. Pada waktu awal post mortem penurunan suhu akan sangat lambat karena masih ada produksi panas dari proses glikogenolisis, tetapi sesudah itu penurunan menjadi lebih cepat dan pada akhirnya menjadi lebih lambat kembali. Pada penelitian ini diberikan perlakuan berupa perbedaan suhu baik pada suhu kamar ataupun pada suhu 5⁰C, dan hal tersebut akan mempengaruhi motilitas spermatozoa menjadi lebih cepat atau lambat.

2.6 Kematian sel (*Cellulare Death*)

Kematian seluler yaitu kematian organ atau jaringan tubuh yang timbul beberapa saat setelah kematian somatis. Ketika seseorang dinyatakan telah meninggal dunia maka sel-sel yang membentuk tubuhnya akan tetap hidup secara sendiri-sendiri, meskipun sel tersebut tidak mendapatkan pasokan oksigen. Daya tahan hidup sel tanpa oksigen ini berbeda-beda, sehingga terjadinya kematian seluler pada sel tidak terjadi secara bersamaan. Sebagai contoh Sel spermatozoa masih mampu hidup selama beberapa jam setelah mati sedangkan sel-sel usus mampu hidup sampai 2 jam sesudah mati.¹⁰

Adanya stimulus yang terlalu berat dan berlangsung lama serta melebihi kapasitas adaptif sel akan menyebabkan kematian sel, di mana sel tidak mampu

lagi mengkompensasi perubahan yang ada. Sekelompok sel yang mengalami kematian dapat dikenali dengan adanya enzim-enzim lisis yang melarutkan berbagai unsur sel serta timbulnya peradangan. Leukosit akan membantu mencerna sel-sel yang mati dan selanjutnya mulai terjadi perubahan-perubahan secara morfologis.

Kematian sel nekrotik, merupakan kematian sel pada individu yang masih hidup, yang jika ada rangsangan kuat yang menyebabkan cedera pada sel atau rangsangan yang berkepanjangan. Perubahan inti sel yang mengalami nekrosis adalah hilangnya gambaran kromatin, inti keriput tidak vesikuler, piknotik, kariolisis, dan karioeksis. Kematian sel nekrotik disebabkan karena hipoksia berkepanjangan, infeksi yang menghasilkan toksin dan radikal bebas, dan kerusakan integritas membrane sampai pada pecahnya sel. Respons imun dan peradangan terutama sering dirangsang oleh nekrosis yang menyebabkan cedera lebih lanjut dan kematian sel sekitar. Kekurangan oksigen (hipoksia) adalah penyebab paling umum cedera dan kematian seluler. Hal ini dapat disebabkan karena berkurangnya pasokan darah pada daerah yang terlokalisasi, embolisme, infark dan nekrosis. hipoksia ini akan mempengaruhi respirasi oksidasi aerob. Pada kondisi aerob (tersedia oksigen) sistem enzim mitokondria mampu mengkatalisis oksidasi asam piruvat menjadi H_2O dan CO_2 serta menghasilkan energi dalam bentuk ATP (Adenosin Tri Phosphat). Akibat berkurangnya pasokan O_2 maka terjadi proses respirasi anaerob. Pada kondisi anaerob (tidak tersedia oksigen), sel akan mengubah asam piruvat menjadi CO_2 dan etil alkohol serta membebaskan energi (ATP). Atau oksidasi asam piruvat dalam sel otot

menjadi CO₂ dan asam laktat serta membebaskan energi (ATP). Proses anaerob ini akan berakhir dengan kematian sel. Akibatnya semua fungsi sel yang bergantung oksigen, akan berhenti bekerja dan mengalami kematian. ¹⁶