

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kebakaran Hutan

Kebakaran hutan telah menjadi masalah bukan hanya di Indonesia tetapi juga berdampak regional di Asia Tenggara yang berpengaruh terhadap berbagai sektor kehidupan seperti gangguan aktivitas sehari-hari, hambatan transportasi, kerusakan ekologis, penurunan pariwisata, dampak politik, ekonomi dan gangguan kesehatan (Faisal, 2012). Kebakaran hutan didefinisikan sebagai sesuatu yang bersifat alami maupun perbuatan manusia yang menyebabkan terjadinya proses penyalahan serta pembakaran bahan bakar hutan dan lahan (Syaufina, 2008). Kebakaran hutan dapat terjadi baik disengaja maupun tanpa disengaja. Diketahui bahwa 90% terjadinya kebakaran hutan diakibatkan oleh faktor kesengajaan manusia melalui beberapa kegiatan, seperti perladangan, perkebunan, penyiapan lahan untuk ternak dan sebagainya (Purbowaseso, 2004).

Berdasarkan hasil penelitian di Sumatera, didapatkan penyebab langsung maupun tidak langsung dari kebakaran hutan. Adapun penyebab langsung adalah pembukaan lahan dan menyebar tidak sengaja, sedangkan penyebab

tidak langsung seperti alokasi penggunaan lahan, degradasi hutan dan lahan, dampak dari perubahan karakteristik penduduk, lemahnya kapasitas kelembagaan (Hadiprasetya, 2009).

Diketahui beberapa faktor seperti cuaca, struktur tanah dapat mempengaruhi sifat api dan efek asap kebakaran. Secara umum, cuaca berangin membuat konsentrasi asap lebih rendah, karena asap akan bercampur dengan udara yang dapat menyebabkan api kebakaran menyebar lebih cepat serta dampak yang timbul akan lebih besar. Intensitas panas, khususnya saat awal kebakaran akan membawa asap ke udara dan menetap, kemudian turun jika suhu menurun. Asap kebakaran pertama biasanya langsung terbawa angin sehingga menjadi prediksi area yang terbakar (Faisal, 2012).

2.2 Asap Kebakaran

Asap merupakan perpaduan atau campuran karbon dioksida (CO_2), air, karbon monoksida (CO), *particulate matter*, nitrogen oksida (NO_x), hidrokarbon, zat kimia organik, dan mineral (NCUAQMD, 2008). Selain itu, asap kebakaran hutan mengandung *volatile organic compounds* (VOCs) seperti benzene, formaldehid dan akrolein yang dilepaskan ke atmosfer (CDC, 2014). Komponen asap lainnya seperti SO_2 dan ozon (O_3) terkandung dalam asap kebakaran hutan (Perwitasari, 2012). Komposisi asap tergantung dari banyak faktor, yaitu jenis bahan pembakar, kelembaban, temperatur api, kondisi angin, cuaca, jenis kayu dan tumbuhan yang mengandung selulosa,

lignin, tanin, polifenol, minyak, lemak, resin, lilin, dan tepung akan membentuk campuran yang berbeda saat terbakar (NCUAQMD, 2008).

2.2.1 Karbon Monoksida

Karbon dan oksigen dapat bergabung membentuk senyawa karbon monoksida (CO) sebagai hasil pembakaran yang tidak sempurna dan karbon dioksida (CO₂) sebagai hasil pembakaran sempurna. Karbon monoksida merupakan senyawa yang tidak berbau, tidak berasa dan pada suhu udara normal berbentuk gas yang tidak berwarna, serta mempunyai potensi bersifat racun yang berbahaya karena dapat membentuk ikatan yang kuat dengan pigmen darah yaitu hemoglobin (Luthfi, 2008). Karbon monoksida di lingkungan dapat terbentuk secara alamiah, seperti dari lautan, oksidasi metal di atmosfer, pegunungan, kebakaran hutan. Namun, sumber utamanya adalah dari kegiatan manusia, antara lain kendaraan bermotor berbahan bakar bensin, asap rokok, tungku dapur rumah tangga dan tungku pemanas ruang (Depkes, 2011; Luthfi, 2008).

Dampak kesehatan yang dapat ditimbulkan dari karbon monoksida antara lain pusing, rasa tidak enak pada mata, telinga berdengung, mual, muntah, detak jantung meningkat, rasa tertekan di dada, sukar nafas, kelemahan otot-otot, tidak sadar dan meninggal dunia (Mukono, 2008). Menurut Soekamto (2012) dampak lain yang ditimbulkan CO yaitu CO

mengikat hemoglobin secara *reversible*, yang menyebabkan anemia relatif karena CO mengikat hemoglobin lebih kuat daripada oksigen. Selain itu, CO dapat mengikat mioglobin yang menyebabkan daya kontraktile miokardium menurun, sehingga pelepasan oksigen ke sel berkurang terjadi hipoksia jaringan, aritmia ventrikuler dan dapat terjadi kematian mendadak. Pada kulit, berwarna seperti buah cherry, namun jarang terjadi. Gangguan lain yang ditimbulkan oleh CO, salah satunya adalah iritasi mata. Iritasi mata merupakan rasa tidak nyaman pada permukaan luar, biasanya akibat kelainan di permukaan mata, seperti gatal, rasa kering, perih, sensasi benda asing, mata berair, sekret mata, sering tidak spesifik untuk diagnostik (Faisal, 2012; Riordan-Eva, 2010). Berikut tabel mengenai hubungan COHb dalam darah dengan gejala yang terjadi, tersaji pada tabel 1.

Tabel 1. Hubungan COHb dalam darah (%) dengan gejala.

COHb dalam darah (%)	Gejala
10	Tidak ada efek yang cukup, kecuali sesak napas saat aktivitas berat, pelebaran pembuluh darah kulit
20	Sesak napas saat aktivitas sedang, sakit kepala sesekali
30	Sakit kepala (nyata), mudah lelah, gangguan penglihatan
40–50	Sakit kepala, <i>collapse</i> , pingsan saat aktivitas
60–70	Tidak sadar, kejang intermiten, gagal napas, kematian (paparan lama)
80	Kematian

(Sumber: WHO, 2004).

Digunakan rumus Henderson dan Haggard untuk menentukan kadar COHb dalam darah, yaitu Lama paparan (dalam jam) x Konsentrasi

CO di udara (dalam ppm) (Anggraeni, 2009). Berdasarkan The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), *Lethal concentration* (LC_{50}) CO pada tikus sebesar 1807 ppm, inhalasi selama 4 jam. Sehingga bila paparan tersebut dipaparkan dapat menimbulkan kerusakan organ hingga kematian (WHO, 2004).

2.2.2 Nitrogen Oksida

Nitrogen oksida adalah sekelompok gas yang terdiri dari nitrogen dan oksigen. Dua dari nitrogen oksida yang paling umum adalah nitrat oksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO_2). Nitrat oksida adalah gas dengan tajam, bau manis; tidak berwarna sampai coklat pada suhu kamar. Nitrogen dioksida adalah tidak berwarna cairan coklat pada suhu kamar, dengan bau yang keras yang kuat, serta menjadi gas coklat kemerahan pada suhu di atas 70° F (NLM₁, 2014).

Kadar NO_x diudara perkotaan biasanya 10 – 100 kali lebih tinggi dari pada di udara pedesaan. Kadar NO_x diudara daerah perkotaan dapat mencapai 0,5 ppm. Seperti halnya CO, emisi NO_x dipengaruhi oleh kepadatan penduduk karena sumber utama NO_x yang diproduksi manusia adalah dari pembakaran dan kebanyakan pembakaran disebabkan oleh kendaraan bermotor, rokok, produksi energi dan pembuangan sampah. Sebagian besar emisi NO_x buatan manusia berasal dari pembakaran arang, minyak, gas dan bensin (Depkes, 2011).

Dampak kesehatan akibat NO_x, dibagi menjadi dua yaitu paparan jangka pendek dan paparan jangka panjang. Paparan jangka pendek mempengaruhi sistem pernafasan, kardiovaskuler, kulit, dan mata. Paparan jangka pendek pada mata dengan NO_x dalam bentuk cair dapat menyebabkan luka bakar yang parah pada mata, sedangkan kadar tinggi dalam bentuk gas menyebabkan iritasi dan dapat mengaburkan permukaan mata serta kebutaan bila dipaparkan lebih lama (ASTDR₁, 2014). Paparan jangka panjang NO_x menyebabkan penyakit paru restriktif dan obstruktif permanen, proses kelanjutan dari iritasi mata, hidung, tenggorokan, kerusakan (deoksiribonukleat) DNA, serta bersifat mutagenik dan fetotoksik (ATSDR₁, 2014; NLM₁, 2014).

2.2.3 Sulfur Dioksida

Pencemaran oleh sulfur oksida terutama disebabkan oleh dua komponen sulfur bentuk gas yang tidak berwarna, yaitu sulfur dioksida (SO₂) dan sulfur trioksida (SO₃) yang keduanya disebut sulfur oksida (SO_x). Sulfur dioksida mempunyai karakteristik bau yang tajam dan tidak mudah terbakar diudara, sedangkan sulfur trioksida merupakan komponen yang tidak reaktif, dengan jumlah 1 – 10% dari total SO_x (Depkes, 2011). Paparan SO₂ dapat melalui inhalasi, kontak langsung pada mata dan kulit serta ingesti. Paparan 10 – 20 ppm SO₂ dapat menyebabkan iritasi pada membran mukosa, menyebabkan kerusakan pada konjungtiva maupun

kornea (ATSDR₂, 2014). Berikut konsentrasi SO₂ terhadap pengaruh yang ditimbulkan, tersaji pada tabel 2.

Tabel 2. Pengaruh konsentrasi SO₂.

Konsentrasi (ppm)	Pengaruh
3 – 5	Jumlah terkecil yang dapat dideteksi dari baunya
8 – 12	Jumlah terkecil yang segera mengakibatkan iritasi tenggorokan
20	Jumlah terkecil yang akan mengakibatkan iritasi mata
20	Jumlah terkecil yang akan mengakibatkan batuk
20	Maksimum yang diperbolehkan untuk konsentrasi dalam waktu lama
50 – 100	Maksimum yang diperbolehkan untuk kontrak singkat (30 menit)
400 -500	Berbahaya meskipun kontak secara singkat

(Sumber: Depkes, 2011).

Dampak kesehatan akibat paparan SO₂ dibagi menjadi paparan akut dan paparan kronik. Paparan akut pada dipengaruhi oleh SO₂ yang melarut di dalam air pada membran mukosa, mata dan kulit kemudian akan membentuk asam sulfur yang merupakan iritan dan inhibitor transportasi mukosiliar. Sebagian besar SO₂ dihirup, didetoksifikasi oleh hati terhadap sulfat dan diekskresikan dalam urin. Ion bisulfit diproduksi ketika sulfur dioksida bereaksi dengan air cenderung menjadi inisiator utama sulfur dioksida yang disebabkan bronkokonstriksi (ATSDR₂, 2014).

2.2.4 *Particulate Matter*

Particulate Matter (PM) atau partikulat debu merupakan bagian penting dalam asap kebakaran untuk pajanan jangka pendek (jam atau mingguan). Materi debu adalah partikel tersuspensi yang merupakan campuran partikel solid dan droplet cair. Karakteristik dan pengaruh potensial partikulat debu terhadap kesehatan tergantung pada sumber, musim dan keadaan cuaca. Partikulat debu dibagi menjadi:

1. Ukuran lebih dari 10 μm , biasanya tidak sampai ke paru; dapat mengiritasi mata, hidung, dan tenggorokkan.
2. Partikel $\leq 10 \mu\text{m}$; dapat terinhalasi sampai ke paru.
3. Partikel kasar berukuran 2,5–10 μm .
4. Partikel halus berdiameter $\leq 2,5 \mu\text{m}$.

Partikulat debu akan berada di udara dalam waktu relatif lebih lama dalam keadaan melayang dan masuk kedalam tubuh manusia melalui saluran pernafasan (NCUAQMD, 2008).

2.2.5 *Volatile Organic Compounds*

Volatile Organic Compounds (VOCs) adalah senyawa yang mengandung karbon yang mudah menguap pada suhu ruang (NLM₂, 2014; MDH, 2010). Paparan jangka pendek VOCs menyebabkan iritasi pada mata, hidung dan tenggorokan, sakit kepala, mual, muntah dan gangguan pernafasan. Sedangkan, paparan jangka panjang menyebabkan kerusakan hati, kerusakan

ginjal, serta efek pada sistem lain seperti sistem respirasi, saraf, reproduksi, gangguan mental dan kanker (MDH, 2010; Tanyanont & Vadakan, 2012).

2.3. Mekanisme Komponen Asap Terhadap Mata

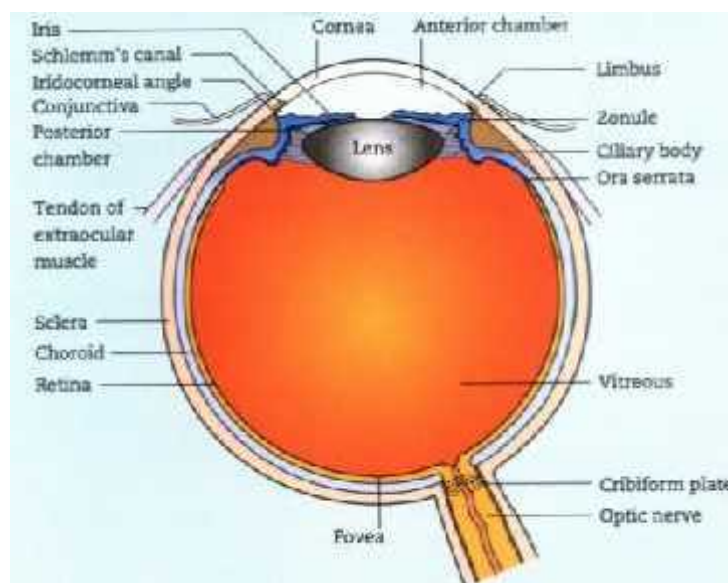
Asap pembakaran bahan organik memiliki komponen yang terdiri dari CO, NO, SO₂ dan VOCs. Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Rummenie., *et al* (2008) didapatkan bahwa zat toksin asap tersebut memicu pengaktifan sitokin yakni interleukin (IL) seperti IL 1 α , IL 6, IL 8, TGF 1 β dan TNF α yang akan berperan dalam proses inflamasi pada epitel permukaan mata. Diketahui sitokin IL 6, IL 8 dapat meningkatkan pertumbuhan sel epitel (Fabiani, 2009). Hal ini juga disebutkan oleh Sutyarso, Susantiningsih T, Suharto YAP (2014) dimana asap dapat menyebabkan inflamasi pada organ.

2.4 Mata

2.4.1 Anatomi Mata Manusia

Mata terdiri dari suatu lapisan luar keras yang transparan di anterior atau kornea dan opak di posterior atau sklera. Keduanya disambungkan oleh limbus. Suatu lapisan kaya pembuluh darah atau koroid melapisi segmen posterior mata dan memberi nutrisi pada permukaan retina. Korpus siliaris

terletak di anterior, mengandung otot-otot siliaris polos yang kontraksinya mengubah bentuk lensa dan memungkinkan fokus mata berubah-ubah. Epitel siliaris mensekresi aqueous humor dan mempertahankan tekanan okuler. Lensa terletak dibelakang iris, disokong oleh serabut-serabut halus atau zonula yang terbentang diantara lensa dan korpus siliaris. Antara kornea di anterior dan lensa serta iris di posterior terdapat bilik mata anterior. Diantara iris, lensa dan korpus siliaris terdapat bilik mata posterior. Kedua bilik ini terisi oleh aqueous humor. Di anterior, konjungtiva akan berlanjut dari sklera ke bagian bawah kelopak mata atas dan bawah (James, 2005). Berikut anatomi mata, tersaji pada gambar 3.



Gambar 3. Anatomi mata (Sumber: James, 2005).

2.4.1.1 Kornea

2.4.1.1.1 Anatomi kornea

Kornea merupakan jaringan transparan yang avaskular berukuran 11–12 mm horizontal dan 10–11 mm vertikal serta memiliki indeks refraksi 1,37 mempunyai rata– rata ketebalan 550 μm pada dewasa. Dalam nutrisinya, kornea bergantung pada difusi glukosa dari aqueous humor dan oksigen yang berdifusi melalui lapisan air mata. Sebagai tambahan, kornea perifer disuplai oksigen dari sirkulasi limbus (Riordan-Eva, 2010).

2.4.1.1.2 Histologi kornea

Secara histologis, lapisan kornea terdiri dari lima lapisan, yaitu:

1. Epitel

Tebalnya 50 μm , terdiri atas 5 lapis sel epitel tidak bertanduk yang saling tumpang tindih; satu lapis sel basal, sel poligonal dan sel gepeng. Pada sel basal sering terlihat mitosis sel dan sel muda ini terdorong ke depan dan semakin maju ke depan menjadi sel gepeng, sel basal berikatan erat dengan sel basal di sampingnya dan sel poligonal; ikatan ini menghambat pengaliran air, elektrolit,

dan glukosa yang merupakan *barrier*. Sel basal menghasilkan membran basal yang melekat erat kepadanya.

2. Membran Bowman

Terletak di bawah membran basal epitel kornea yang merupakan kolagen yang tersusun tidak teratur seperti stroma dan berasal dari bagian depan stroma. Lapisan ini tidak mempunyai daya regenerasi.

3. Stroma

Susunan kolagen yang sejajar satu dengan lainnya. Keratosit merupakan sel stroma kornea yang merupakan fibroblas terletak di antara serat kolagen stroma. Keratosit membentuk bahan dasar dan serat kolagen dalam perkembangan embrio atau sesudah trauma.

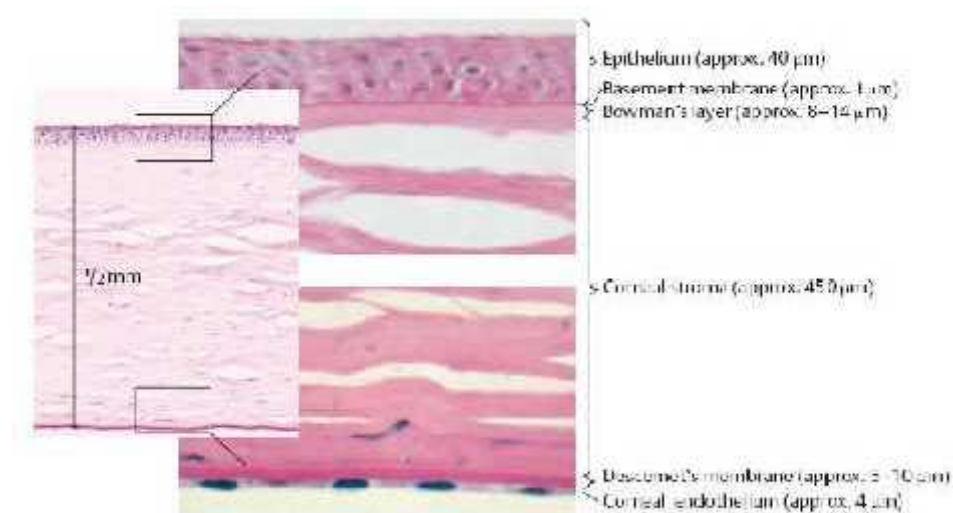
4. Membran Descement

Membran aselular dan merupakan batas belakang stroma kornea dihasilkan sel endotel dan merupakan membran basalnya. Bersifat sangat elastis dan berkembang terus seumur hidup, mempunyai tebal 40 μm .

5. Endotel

Berasal dari mesotelium, berlapis satu, bentuk heksagonal, besar 20–40 μm . Endotel melekat pada membran descement melalui hemi desmosom dan zonula okluden (Ilyas, 2009).

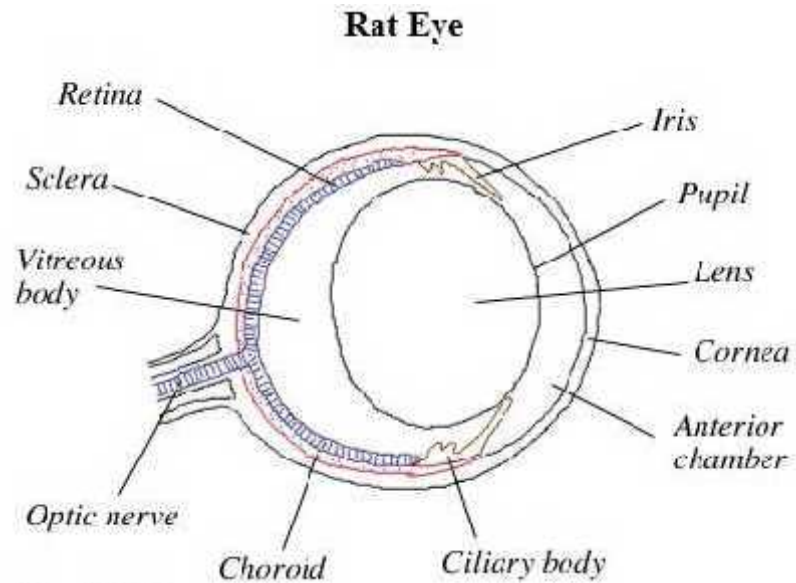
Permukaan anterior kornea ditutupi epitel berlapis gepeng tanpa lapisan tanduk dan tanpa papil. Di bawah epitel kornea terdapat membran *limitans anterior* (membran Bowman) yang berasal dari stroma kornea (substansi propia). Permukaan posterior kornea ditutupi epitel kuboid rendah dan epitel posterior yang merupakan endotel kornea. Membran descemet merupakan membran basal epitel kornea (Eroschenko, 2010). Berikut gambar histologi kornea, tersaji pada gambar 4.



Gambar 4. Histologi kornea (Sumber: Lang, 2006).

2.4.2 Anatomi Mata Tikus Putih (*Rattus norvegicus*)

Pada dasarnya mata manusia dan mata tikus tidak terlalu banyak berbeda, kecuali dalam segi bentuk serta ukuran. Berikut gambar anatomi mata tikus, tersaji pada gambar 5.



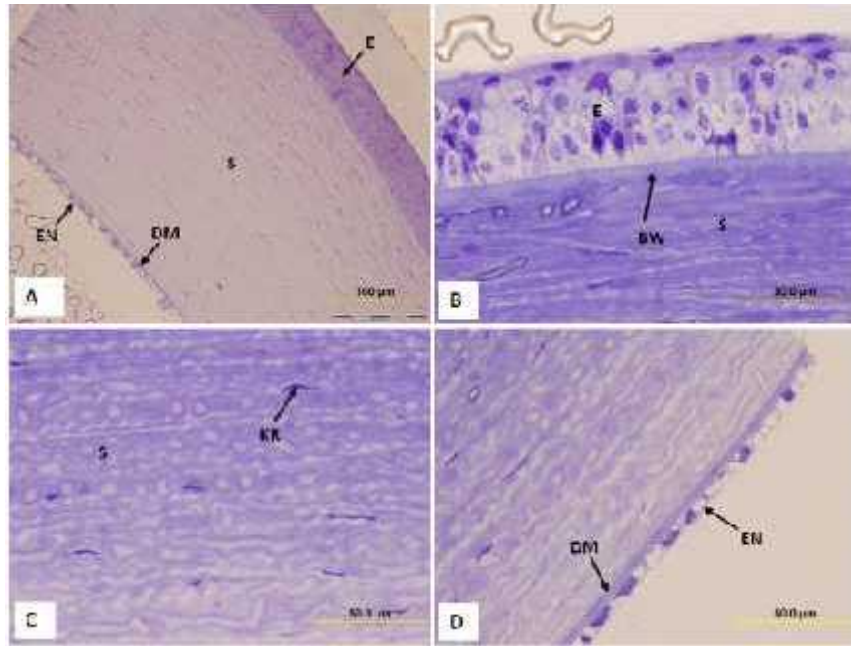
Gambar 5. Anatomi mata tikus (Sumber: Hanson, 2012).

2.4.2.1 Kornea

2.4.2.1.1 Histologi

Sama halnya, seperti kornea manusia pada kornea tikus diketahui tidak ada perbedaan. Kornea tikus memiliki lima lapisan, yaitu epitel, membran bowman, stroma, membran decement dan endotel. Kornea tidak terdapat sel goblet (Almubrad, 2011).

Gambar histologi kornea tikus, tersaji pada gambar 6.



Gambar 6. Histologi kornea tikus (Sumber: Almubrad, 2011).

2.5 Sistem Lakrimalis

Sistem lakrimalis dibagi menjadi dua bagian yaitu sistem sekresi dan ekskresi air mata.

2.5.1 Sistem Sekresi dan Ekskresi

Sistem Sekresi Air Mata

Sekresi air mata dominan dihasilkan di kelenjar lakrimal, walaupun terdapat kelenjar tambahan lainnya seperti kelenjar krause dan wolfring, terletak di dalam konjungtiva, terutama fornix superior. Modifikasi kelenjar sebacea meibom dan zeis di tepian palpebra memberi substansi lipid pada air mata. Kelenjar moll adalah modifikasi kelenjar keringat yang juga ikut membentuk film prekorneal. Sekresi dapat dipicu oleh iritasi berupa iritatif pada

kornea, konjungtiva, mukosa hidung, stimulus pedas yang diberikan pada mulut atau lidah dan cahaya terang, akibat dari muntah, batuk, menguap maupun emosional kesedihan (Jansen, 2009). Kerusakan pada nervus trigeminus akan menyebabkan refleksi sekresi air mata menghilang. Jalur aferen berasal dari saraf ofthalmik cabang dari saraf trigeminus, sedangkan jalur eferen oleh saraf autonom yaitu simpatis, berasal dari ganglion servikal superior dan parasimpatis dari nervus fasialis (n.VII) yang memberikan pengaruh motorik yang paling dominan. Persarafan yang kompleks ini berfungsi untuk mengontrol fungsi kelenjar lakrimal sehingga menjaga homeostasis lapisan air mata dan berespon terhadap stress dan trauma (Surasmiati, 2014).

Sistem Ekskresi Air Mata

Sistem ekskresi terdiri atas punkta, kanalikuli, sakus lakrimalis dan duktus nasolakrimalis. Setiap berkedip, palpebra menutup mulai di lateral, menyebarkan air mata secara merata di atas kornea, dan menyalurkannya ke dalam sistem ekskresi pada medial palpebra. Setiap kali mengedip, musculus orbicularis okuli akan menekan ampula sehingga memendekkan kanalikuli horizontal dan menimbulkan tekanan negatif pada sakus. Kerja pompa dinamik mengalirkan air mata ke dalam sakus, lipatan mirip katup pada sakus cenderung menghambat aliran balik air mata, yang kemudian masuk melalui duktus nasolakrimalis (Jansen, 2009).

2.5.2 Fungsi Air Mata

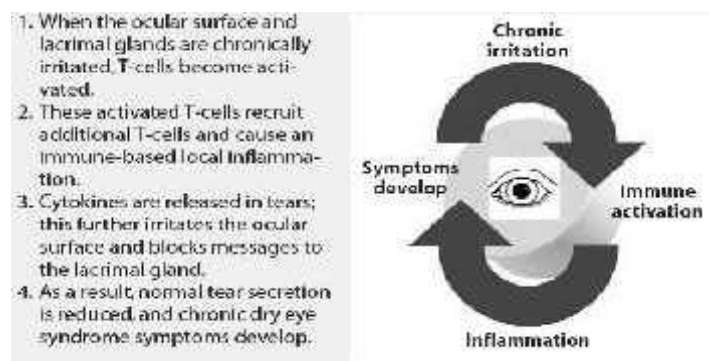
Air mata terdiri dari tiga lapisan, yaitu lipid, aqueous, dan musin. Ketebalan lapisan air mata sekitar 8–9 μm . Lapisan lipid merupakan lapisan superfisial dengan ketebalan sekitar 0,1–0,2 μm . Lapisan aqueous di bagian tengah dengan ketebalan 7–8 μm dan lapisan musin di bagian basal dengan ketebalan 1 μm (Surasmiati, 2014).

Fungsi air mata yang paling penting adalah melindungi serta mempertahankan integritas sel-sel permukaan mata, terutama kornea dan konjungtiva. Selain itu, lapisan air mata akan membentuk serta mempertahankan permukaan kornea selalu rata dan licin sehingga memperbaiki tajam penglihatan pada saat setelah berkedip. Setiap berkedip, air mata mengalir membersihkan kotoran, debu yang masuk ke mata. Menjaga sel-sel permukaan kornea dan konjungtiva tetap lembab. Mengandung antibakteri, lisozim, betalisin dan antibodi, sebagai mekanisme pertahanan mata dan proteksi terhadap kemungkinan infeksi. Sumber nutrisi seperti glukosa, elektrolit, enzim, dan protein (Asyari, 2007).

2.6 Proses Perubahan Kornea

Paparan asap yang akut dapat menyebabkan kerusakan jaringan yang diakibatkan dari proses inflamasi (Rummenie, *et al* 2008). Iritasi mata yang terjadi secara

berulang menyebabkan lengkung neural diaktivasi secara berlebihan dan menyebabkan perubahan sekresi air mata. Ditandai dengan sekresi sel T yang teraktivasi dan sitokin dalam air mata. Keberadaan sitokin dalam air mata menyebabkan inflamasi pada permukaan okuler, yang akan mengganggu penyampaian sinyal sensoris dari permukaan mata sehingga sekresi basal air mata menurun. Pada kelenjar lakrimalis baik secara langsung maupun tidak langsung juga mengalami kerusakan. Keadaan ini menyebabkan penurunan sekresi air mata dan inflamasi tersebut tidak dapat diatasi oleh sistem pertahanan mata yang normal, walaupun secara fisiologis, di dalam air mata mengandung komponen anti inflamasi. Inflamasi tersebut juga menyebabkan disfungsi dari sistem air mata sehingga terjadi gangguan drainase, yang menyebabkan iritasi tidak terkontrol dan peningkatan aktivasi dari limfosit T. Selain itu, sitokin dan mediator inflamasi lainnya juga menyebabkan peningkatan jumlah sel T yang diaktivasi, jumlah produksi substansi inflamasi dan jumlah kerusakan jaringan (Wilson, 2003). Berikut adalah ilustrasi mengenai proses paparan zat iritatif yang berlangsung kronik dapat menyebabkan penurunan sekresi air mata, tersaji pada gambar 7.



Gambar 7. Siklus inflamasi akibat paparan zat iritan secara kronik (Sumber: Wilson, 2013).

Beberapa dampak, diduga akibat paparan zat iritatif menyebabkan terjadi peningkatan produksi *tumor necrosis factor* α (TNF α), IFN γ , interleukin 1 (IL 1) dan glikosaminoglikan oleh fibroblas orbital. Akibat penghasilan Interferon γ , terjadi ekspresi HLA-DR oleh fibroblas tersebut. Selain itu, menyebabkan pelepasan IL 4, IL 5, IL 10, IL 13 dan TNF α oleh sel mast (Baker *et al*, 2006).

Menurut Rummenie., *et al* (2008) komponen asap yang bersifat toksik dapat mengaktifkan sitokin seperti IL 1 α , IL 6, IL 8, TGF 1β dan TNF α yang akan berperan dalam proses inflamasi pada epitel permukaan mata. Diketahui sitokin IL 6 dan IL 8 dapat meningkatkan pertumbuhan sel epitel (Fabiani, 2009).

Paparan asap terhadap mata dapat menyebabkan hiperplasia sel pada epitel kornea. Hiperplasia merupakan salah satu respon adaptasi sel terhadap stimulus senyawa toksik. Hal ini disebabkan oleh faktor fisik dan atau sistemik. Faktor fisik terjadi akibat adanya kontak langsung, sedangkan faktor sistemik dapat terjadi melalui inhalasi senyawa toksik yang kemudian dibawa ke aliran darah sehingga mencapai organ mata (Kusumawardhani, 2013).

2.7 Tikus Putih (*Rattus norvegicus*) Galur *Sprague dawley*

Tikus Putih (*Rattus norvegicus*) merupakan hewan pengerat dan sering digunakan sebagai hewan percobaan atau digunakan untuk penelitian, dikarenakan tikus merupakan hewan yang mewakili dari kelas mamalia, sehingga kelengkapan organ, kebutuhan nutrisi, metabolisme biokimia, sistem reproduksi, pernafasan, peredaran darah dan ekskresi menyerupai manusia. Tikus yang digunakan dalam penelitian adalah galur *Sprague dawley* berjenis kelamin jantan berumur kurang lebih 3 bulan. Tikus *Sprague dawley* dengan jenis kelamin betina tidak digunakan karena kondisi hormonal yang sangat berfluktuasi pada saat dewasa, sehingga dikhawatirkan akan memberikan respon yang berbeda dan dapat mempengaruhi hasil penelitian (Kesenja, 2005).

2.7.1 Klasifikasi

Kingdom	: Animalia
Filum	: Chordata
Kelas	: Mamalia
Ordo	: Rodentia
Subordo	: Odontoceti
Familia	: Muridae
Genus	: <i>Rattus</i>
Spesies	: <i>Rattus norvegicus</i> (Narendra, 2007).

2.7.2 Jenis

Terdapat beberapa galur atau varietas tikus yang memiliki kekhususan tertentu antara lain galur *Sprague dawley*, *Wistar*, dan *Long evans*. Tikus galur *Sprague dawley* memiliki ciri-ciri albino putih, berkepala kecil dengan ekor yang lebih panjang daripada badannya. Tikus galur *Wistar* memiliki ciri-ciri bentuk kepala lebih besar dengan ekor yang lebih pendek sedangkan galur *Long evans* memiliki ciri badan berukuran lebih kecil dari tikus putih, berwarna hitam pada bagian kepala dan tubuh bagian depan. Tikus putih (*Rattus norvegicus*) galur *Sprague dawley* merupakan tikus yang paling sering digunakan dalam percobaan. Tikus ini memiliki tempramen yang tenang sehingga mudah dalam penanganan. Rata-rata ukuran berat badan tikus *Sprague dawley* adalah 10,5 gram. Berat badan dewasa adalah 250–300 gram untuk betina, dan 450–520 gram untuk jantan. Tikus ini jarang hidup lebih dari 3 tahun (Putra, 2009).