

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. LANDASAN TEORI**

##### **1. PENCEMARAN UDARA**

###### a. Definisi dan Klasifikasi

Pencemaran udara adalah peristiwa masuknya atau tercampurnya polutan (unsur-unsur berbahaya) ke dalam lapisan udara (atmosfer) yang dapat mengakibatkan menurunnya kualitas udara (lingkungan). Bila pencemaran tersebut terjadi di dalam rumah, di ruang-ruang sekolah ataupun di ruang-ruang perkantoran maka disebut sebagai pencemaran dalam ruang (*indoor pollution*). Bila pencemarannya terjadi di lingkungan rumah, perkotaan, bahkan regional maka disebut sebagai pencemaran di luar ruang (*outdoor pollution*). Pencemaran udara dalam ruang (*indoor air pollution*) terutama rumah sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Pada umumnya orang lebih banyak menghabiskan waktu untuk melakukan kegiatan di dalam rumah, sehingga rumah menjadi sangat penting sebagai lingkungan mikro yang berkaitan dengan risiko dari pencemaran udara. Dampak dari adanya pencemaran udara dalam ruang rumah terhadap kesehatan dapat terjadi baik secara langsung maupun tidak langsung. Gangguan kesehatan yang dapat terjadi secara langsung setelah terpajan pencemaran udara antara lain iritasi mata, iritasi hidung dan tenggorokan, termasuk asma.

Dampak gangguan kesehatan secara tidak langsung dapat terjadi beberapa tahun kemudian setelah terpajan, seperti penyakit paru, jantung, dan kanker, yang sulit diobati dan berakibat fatal (Depkes, 2011).

Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 tentang pedoman penyehatan udara dalam ruang rumah, persyaratan kualitas udara dalam ruang rumah meliputi:

1) Kualitas fisik, terdiri dari parameter: partikulat (*Particulate Matter/PM<sub>2,5</sub>* dan *PM<sub>10</sub>*), suhu udara, pencahayaan, kelembaban, serta pengaturan udara (laju ventilasi).

Tabel 1. Parameter kualitas fisik (Depkes, 2011)

No	Jenis Parameter	Satuan	Kadar yang dipersyaratkan
1.	Suhu	C	10-18
2.	Pencahayaan	Lux	Minimal 60
3.	Kelembaban	%Rh	40-60
4.	Laju Ventilasi	m/dtk	0,15-0,25
5.	PM <sub>2,5</sub>	µg/m <sup>3</sup>	35 dalam 24 jam
6.	PM <sub>10</sub>	µg/m <sup>3</sup>	≤70 dalam 24 jam

2) Kualitas Kimia, terdiri dari parameter: sulfur dioksida(SO<sub>2</sub>), Nitrogen dioksida(NO<sub>2</sub>), Karbon monoksida (CO), Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), Timbal (Pb), asap rokok (*Environmental Tobacco Smoke/ETS*), asbes, formaldehid (HCHO), dan *Volatile Organic Compound* (VOC).

Tabel 2. Parameter Kualitas Kimia (Depkes, 2011)

No.	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimal yang dipersyaratkan	Keterangan
1.	<i>Sulfur dioksida</i> (SO <sub>2</sub> )	Ppm	0,1	24 jam
2.	Nitrogen dioksida (NO <sub>2</sub> )	Ppm	0,04	24 jam
3.	Carbon Monoksida (CO)	Ppm	9,00	8 jam
4.	Carbondioksida (CO <sub>2</sub> )	Ppm	1000	8 jam
5.	Timbal (Pb)	µg/m <sup>3</sup>	1,5	15 menit
6.	Asbes	Serat/ml	5	Panjang serat 5µ
7.	Formaldehida (HCHO)	Ppm	0,1	30 menit
8.	Volatile Organic Compound (VOC)	Ppm	3	8 jam
9.	Environmental Tobacco Smoke (ETS)	µg/m <sup>3</sup>	35	24 jam

3) Kualitas biologi terdiri dari parameter: bakteri dan jamur.

Tabel 3. Parameter kualitas biologi (Depkes, 2011)

No.	Jenis Parameter	Satuan	Kadar maksimal
1.	Jamur	CFU/m <sup>3</sup>	0 CFU/m <sup>3</sup>
2.	Bakteri pathogen	CFU/m <sup>3</sup>	0CFU/m <sup>3</sup>
3.	Angka kuman	CFU/m <sup>3</sup>	<700 CFU/m <sup>3</sup>

## b. Pewangi Ruangan

Pewangi ruangan adalah produk-produk konsumen yang mengurangi bau yang tidak menyenangkan di ruangan tertutup. Pengharum ruangan tersebut bisa dalam bentuk lilin, semprotan *aerosol, diffuser, potpourri, gel* dan mekanik (Pratiwi, 2010).

Pewangi ruangan merupakan produk rumah tangga yang secara eksplisit melepaskan bahan-bahan kimia yang dikandungnya ke udara dan dihirup oleh konsumen. Efek dari penggunaan pewangi ruangan akan mengakibatkan saluran pernafasan menghirup zat yang ada dalam produk tersebut. Penggunaan secara umum produk pengharum ruangan dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi gas udara ruangan dan partikel pencemaran udara. Bila peningkatan konsentrasi gas udara ruangan terjadi ditempat kita berada, maka pemaparan partikel pencemaran melalui inhalasi manusia akan terjadi (Nazaroff, 2006).

Jenis pewangi *spray* umumnya mengandung *isobutane, n-butane, propane* atau campurannya. Untuk bentuk *gel* disertai kandungan bahan gum. Adapun zat aktif aroma bentuk *gel* umumnya berupa campuran zat pewangi, seperti *limonene, benzyl acetate, linalool, citronellool, ocimene*, dan sebagainya. Pewangi yang sudah dilarang *The International Fragrance Association (IFRA)* diantaranya pewangi yang mengandung *musk ambrette, geranyl nitrile, dan 7-methyl coumarin*. Sedangkan yang berbentuk *gel* dilarang bila mengandung zat-zat

pengawet yang berbahaya bagi kesehatan, seperti *formaldehyde* dan *methyl chloroisothiozilinone* (LP2KS, 2011).

*Diethyl phthalate* lebih banyak terkandung dalam dupa dan bahan pewangi *spray*. Sedangkan formaldehida lebih banyak ditemukan pada pewangi ruangan *gel* dengan kadar hingga  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (SCHER, 2006).

### c. Formaldehida

Formaldehida yang juga disebut sebagai methanol (HCHO), yaitu senyawa organik yang paling sederhana dari aldehida. Senyawa ini digunakan dalam jumlah besar dalam proses manufaktur kimia. Umumnya formaldehida ini dijual sebagai larutan formalin 37% (Encyclopedia Britannia, 2014).

Formaldehida digunakan dalam bentuk desinfektan, cairan balsam, cairan untuk sterilisasi, dan lain sebagainya. Namun formaldehida ini mempunyai efek berbahaya pada tubuh, salah satunya pada sistem reproduksi. Formaldehida ini telah terbukti menurunkan kesuburan dan meningkatkan resiko aborsi spontan pada manusia. Pada uji hewan laboratorium, diketahui bahwa formaldehida dapat membahayakan janin dan menyebabkan kerusakan sperma (Brown,*et al.*, 2011).

Menurut Tootin (2007) dalam Heryani (2011) diketahui bahwa paparan formalin menyebabkan penurunan jumlah spermatozoa, perubahan patologi berupa atrofi tubulus seminiferus, penurunan bobot testis, degenerasi dan nekrosis pada sel spermatogenik serta

menurunnya viabilitas dan motilitas sel spermatozoa yang akan menyebabkan infertilitas (Heryani,*et al.*, 2011).

Formalin sendiri dapat menyebabkan penurunan sel-sel spermatogenik. Penurunan jumlah sel-sel spermatogenik ini terjadi akibat kerusakan dari membran sel akibat adanya paparan formalin yang merupakan sumber radikal bebas eksogen yang dapat meningkatkan SOR (Senyawa Oksigen Reaktif) dan SOR merupakan mediator yang memegang peranan penting dalam kejadian cedera sel dan kerusakan oksidatif (Mc Coy, 2007).

Paparan formalin yang berlebih akan menyebabkan lebih banyak radikal bebas atau senyawa oksigen reaktif (SOR) yang terbentuk melalui rantai transport elektron. SOR yang berlebihan memicu terjadinya reaksi peroksidasi lipid pada membran sel spermatozoa ( Heryani, *et al.*, 2011).

Menurut Kus (2008) dalam Gules (2010) yang termasuk dalam Senyawa Oksigen Reaktif (SOR) adalah oksigen tunggal, hidrogen peroksida, anion superoksida, dan hidroksi radikal yang merupakan mediator penting dari cedera seluler dan kerusakan oksidatif. Stres oksidatif inilah yang merupakan mekanisme penting kerusakan testis. SOR yang berlebihan juga dapat meningkatkan apoptosis sel germinal dan menghambat aktivitas spermatozoa.

Formaldehid bersifat sangat reaktif, sehingga dapat dengan mudah bereaksi dengan gugus nukleofilik, yaitu gugus  $-NH_2$  dari sistem

protein (sistem enzimatis). Hal inilah yang dapat menyebabkan hilangnya aktivitas spesifiknya enzimatis dalam tubuh. Sebagai akibatnya antara lain terganggunya sistem sitokrom P450 atau proses oksidatif fosforilasi. Hal ini menyebabkan terjadinya asidosis dan produksi senyawa oksigen reaktif (SOR), karena asam lemak hasil dari proses beta oksidasi tidak dapat diproses lebih lanjut menjadi ATP. Hal ini mendorong terjadinya nekrosis. Produksi senyawa oksigen reaktif (SOR) dan radikal bebas secara berlebihan, dapat menyebabkan rusaknya membran sel, dan membran mitokondria (Mahdi, 2010).

Dalam suatu penelitian disebutkan bahwa paparan formalin dapat menyebabkan penurunan jumlah sel-sel spermatogenik akibat sifat sitotoksik formalin. Hal tersebut akan mempengaruhi tingkat kesuburan seseorang. Sehingga proses spermatogenesis terganggu dan terjadi proses penurunan jumlah sel-sel spermatogenik. Keadaan ini akan menyebabkan terjadinya infertilitas pada pria. Demikian hebatnya efek yang ditimbulkan paparan formalin sehingga perlu lebih diperhatikan pemakaiannya secara luas (Heryani,*et al.*, 2011).

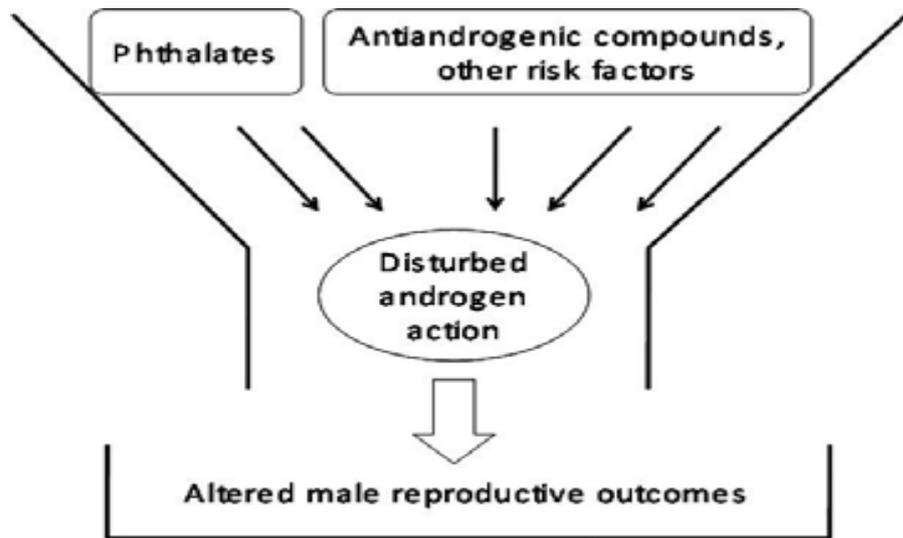
#### **d. Ftalat**

Ftalat atau ester ftalat adalah diester asam benzendikarboksilat. Perbedaan struktur dari rantai ester ftalat ini dapat digolongkan sebagai berikut:

Tabel 4. Golongan phthalate (Crouch,*et al.*, 2008)

<b>Ftalat</b>	<b>Penggunaan</b>
DMP	Anti serangga, plastik.
DEP	Sampo, sabun, kosmetik.
DBP	Bahan industri, kosmetik, obat, perekat.
DIBP	Bahan industri, kosmetik, perekat.
BBP	Pembersih lantai, bahan industri, perekat
DCHP	Bahan karet, polimer
DEHP	Plastik lunak, bahan pembuat mainan, industri rumahan, kemasan makanan.
DOP	Plastik lunak

Ftalat dapat masuk dalam tubuh manusia melalui proses ingesti, inhalasi, maupun parenteral melalui perangkat medis. Pendedahan telah terbukti menimbulkan berbagai efek pada hewan uji, salah satunya adalah efek pada perkembangan sistem reproduksi hewan jantan, seperti halnya infertilitas, penurunan jumlah sperma, kriptorkismus, hipospadia, dan gangguan sistem reproduksi lainnya yang dikenal dengan sebutan sindrom pendedahan. Efek dari pendedahan ini tidak semuanya sama, namun juga dipengaruhi oleh jenis-jenis ftalat dan waktu saat terjadinya paparan, dan usia janin adalah yang paling rentan terhadap paparan ftalat (Crouch, *et al.*, 2008).



Gambar 1. Ftalat dapat mengganggu kerja hormon androgen (Crouch, *et al.*, 2008).

Berdasarkan bagan tersebut dapat diketahui bahwa ftalat dapat mengurangi konsentrasi testosteron yang merupakan androgen yang dapat memberikan kontribusi dalam perkembangan organ seksual laki-laki (Crouch, *et al.*, 2008).

Setelah dicerna, DEHP atau *di-(2-ethylhexyl) phthalate* dihidrolisis oleh usus menjadi *mono-(2-ethylhexyl) phthalate* (MEHP) yang merupakan bahan racun aktif pada testis. Ftalat ini akan menyebabkan kerusakan besar pada sel-sel somatik dari tubulus seminiferus, sel Sertoli, dan pada akhirnya menyebabkan menurunnya produksi sperma (Bhattacharya, *et al.*, 2005).

Salah satu mekanisme DEHP menginduksi atrofi testis pada tikus dikaitkan dengan menipisnya seng dalam testis. ZnT-1 adalah transporter seng yang sangat penting pada testis. DEHP dapat menimbulkan efek

toksik pada testis dengan mengubah ekspresi dari ZnT-1. Selain itu, DEHP menginduksi atrofi testis pada tikus juga dikaitkan dengan pengurangan biosintesis testosteron pada sel Leydig bersama dengan penghambatan *Follicle Stimulating Hormone* (FSH) yang menstimulasi akumulasi dari cAMP dalam sel Sertoli. Hal ini telah ditunjukkan dalam studi in-vitro terbaru menggunakan sel Sertoli yang dikultur dengan mekanisme *mono (2-ethylhexyl) phthalate* (MEHP) mempengaruhi sel Sertoli dan memisahkan sel germinal dari sel Sertoli. Kemudian *Solubilized Fas Ligan* (sFasL) dihasilkan oleh sel Sertoli dan Fas diekspresikan pada permukaan sel sel germinal yang terpisah. Pada akhirnya sFasL dan Fas berikatan dan Fas menyebabkan sel germinal apoptosis (Hazard, 2003).

#### **e. Toluena**

Toluena adalah cairan jernih yang tidak berwarna yang menjadi uap saat terkena udara pada suhu kamar. Toluena biasanya digunakan dalam campuran dengan pelarut dan bahan kimia lainnya seperti halnya pigmen cat. Produk yang mungkin mengandung toluena adalah cat, pembersih logam, dan bahan perekat. Selain itu toluena juga terkandung dalam bensin dan bahan bakar lainnya. Paparan toluena dapat masuk ke tubuh manusia melalui kontak kulit, mata, dan juga proses ingesti. Efek paparan dari waktu ke waktu tersebut dapat menyebabkan beberapa efek seperti iritasi mata, hidung, tenggorokan, sakit kepala, kebingungan, dan kecemasan (OSHA, 2010).

Tabel 5. Struktur kimia Toluena (Ik.Pom, 2013)

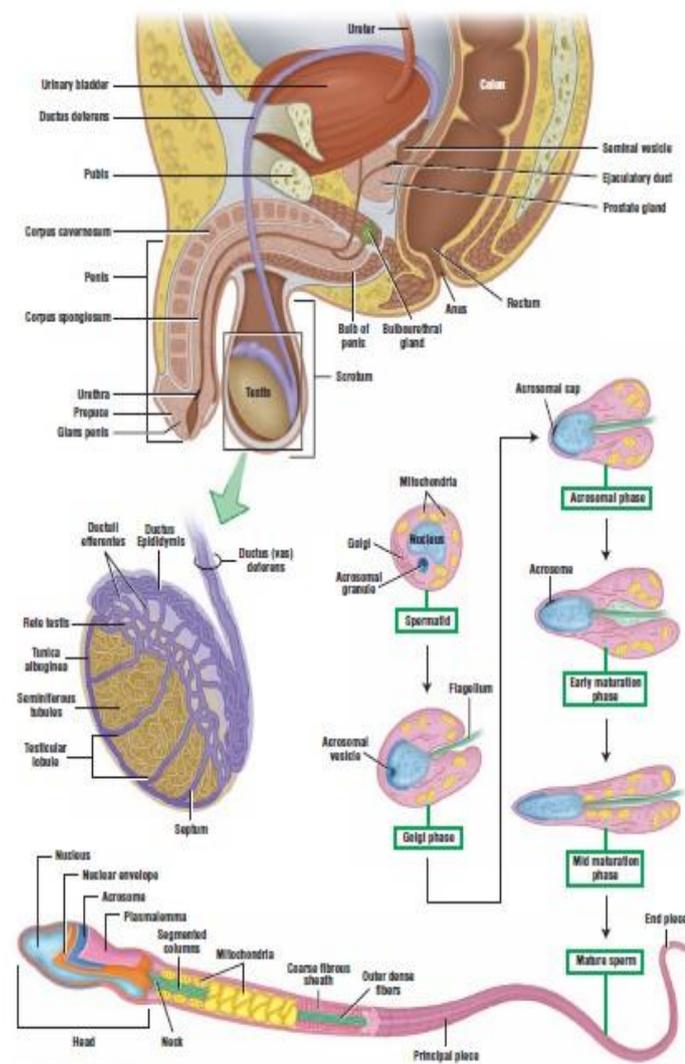
<p><b>Toluena</b>  Golongan:  Hidrokarbon  Sinonim / Nama Dagang:  <i>Toluol, Tolu-Sol; Methylbenzene; Methacide; Phenylmetana; Methylbenzol.</i>  <b>Sifat fisika kimia</b>  Nama bahan:  Toluen  Deskripsi:  Cairan tidak berwarna, berbau manis, pedas seperti benzena; berat molekul 92, 14; titik didih 231,1°F (110,6°C ); titik lebur-139°F (-95°C); tekanan uap 28,4 mmHg pada 25°C; kerapatan uap 3,1 (udara = 1); kekentalan 0,59 cps pada 20°C; berat jenis 0,866 (air = 1)</p>
--

Pada ibu hamil, paparan toluena dapat menyebabkan gangguan pada hasil reproduksi. Efek yang telah dilaporkan termasuk kelahiran prematur, kraniofasial bawaan, penyakit jantung bawaan, serta kelainan sistem saraf pusat. Selain itu, paparan toluena pada laki- laki dapat menyebabkan gangguan sistem reproduksi. Dalam sebuah studi disebutkan bahwa paparan kronis toluena dalam jangka waktu panjang dapat menyebabkan atrofi testis (Foxall K, 2007).

## 2. SISTEM REPRODUKSI PRIA

Sistem reproduksi pria terdiri dari testis dan rangkaian saluran dan kelenjar. Sperma diproduksi oleh testis dan diangkut melalui saluran reproduksi. Saluran reproduksi ini terdiri dari epididimis, duktus deferens, duktus ejakulatorius, dan uretra. Sedangkan kelenjar reproduksi berfungsi menghasilkan sekret yang menjadi bagian dari semen. Kelenjar ini terdiri dari vesikula seminalis, kelenjar prostat, dan kelenjar Cowper (Saylor, 2010).

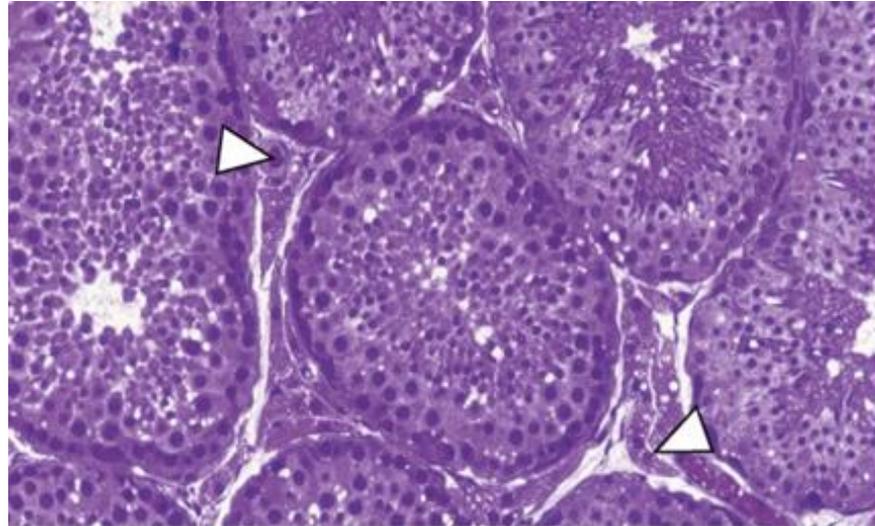
Testis merupakan salah satu dari sepasang kelenjar berbentuk telur yang normalnya terletak di dalam skrotum. Setiap testis dibungkus oleh lapisan luar mesotelial (tunica vaginalis) dan kapsul putih (tunica albuginea) di bagian dalam, dan tersusun dari kompartemen-kompartemen (lobuli testis) yang mengandung tubulus seminiferus, yang di dalamnya dihasilkan spermatozoa (Dorland, 2010).



OVERVIEW FIGURE 18 ■ Location of the testes and the accessory male reproductive organs, with emphasis on the internal organization of the testes, the different phases of spermiogenesis, and the structure of a mature sperm.

Gambar 2. Gambaran sistem reproduksi pria (Eroschenko, 2010).

### 3. HISTOLOGI TESTIS



Gambar 3. Gambaran tubulus seminiferus (Junqueira, 2007).

#### a. Tubulus Seminiferus

Tubulus Seminiferus berkapsul pada lapisan sel adventisial yang berasal dari sel-sel mesenkimal intertisium. Sel epiteloid sel ini disebut sel mioid. Sel-sel mioid ini mempunyai reseptor untuk testosteron dan terbukti menghasilkan protein yang mempengaruhi pembentukan sel-sel pendukung dalam epithelium tubulus seminiferus. Tubulus seminiferus dilapisi oleh epithelium bertingkat yang sangat kompleks. Tubulus ini mengandung sel-sel spermatogenik dan sel-sel penunjang. Terdapat dua jenis sel penunjang yaitu sel Sertoli dan sel-sel spermatogenik yang secara morfologi dapat dibedakan menjadi spermatogonia, spermatosit primer, spermatosit sekunder, spermatid, dan spermatozoa (Fawcett, 2002).

## b. Sel Sertoli

Sel Sertoli adalah sel penunjang testis yang terletak di antara sel-sel spermatogenik di tubuli seminiferi. Sel ini melaksanakan banyak fungsi penting di testis antara lain:

- 1) Memberi dukungan fisik, perlindungan, dan nutrisi bagi sperma yang sedang berkembang (spermatid).
- 2) Pelepasan sperma matang, yaitu *spermiation*, ke dalam lumen tubuli seminiferi.
- 3) Sekresi cairan testis kaya fruktosa untuk nutrisi dan transport sperma ke duktus ekskretorius.
- 4) Pembentukan dan pelepasan protein pengikat-androgen (ABP) yang mengikat dan meningkatkan kadar testosteron di lumen tubuli seminiferi yang penting untuk spermatogenesis. Sekresi ABP berada di bawah kendali *follicle-stimulating hormone* (FSH) dari kelenjar pituitaria.
- 5) Sekresi hormon inhibin, yang menekan pengeluaran FSH dari kelenjar pituitaria.
- 6) Pembentukan dan pelepasan *anti-mullerian hormone*, disebut juga *mulleian-inhibiting hormone*, yang menekan perkembangan duktus muller pada pria dan penghambat perkembangan organ reproduksi wanita (Eroshcenko, 2010).

Fungsi sel sertoli yang paling menonjol adalah sebagai transport. Sel ini menghasilkan protein *transferrine testicular* yang mampu

menhantarkan besi ke dalam sel germinal. Protein *transferrine testicular* ini membawa besi yang terikat dalam darah untuk diletakkan pada reseptor spesifik di dasar sel Sertoli yang kemudian masuk ke dalam sitoplasma (Fawcett, 2002).

### c. Jaringan Interstitial

Jaringan interstitial testis merupakan tempat yang penting untuk pembuatan hormon androgen. Jarak antara tubulus seminiferus diisi dengan jaringan konektif, saraf, kapilari fenestrata, dan saluran limfatik. Saat memasuki masa pubertas, akan ada tambahan sel yang berbentuk bulat poligonal dengan sitoplasma bersifat eosinofilik. Sel tersebut adalah sel leydig yang mempunyai karakteristik *steroid-secreting hormone*. Sel leydig ini memiliki fungsi untuk memproduksi hormon laki-laki yaitu testosteron. Testosteron ini berguna untuk spermatogenesis, pembeda perkembangan seksual saat embrio dan perkembangan fetal, serta mengontrol sekresi gonadotropin (Junqueira, 2007).

Pembentukan hormon testosteron oleh sel-sel interstitial testis diinduksi oleh *Luteinizing Hoermone* (LH). LH disekresi oleh hipofisis bersama dengan *Folicle Stimulating Hormone* (FSH) untuk mempengaruhi sistem reproduksi. Fungsi dari FSH adalah meningkatkan keberadaan cAMP dengan cara merangsang *adenil siklase* pada sel Sertoli. FSH juga memudahkan sintesis dan sekresi protein pengikat-androgen yang nantinya bersamaan dengan testosteron

masuk ke dalam tubulus seminiferus guna menginduksi spermatogenesis. Spermatogenesis ini diinduksi testosteron dan dihambat oleh estrogen dan progesteron (Junqueira, 2007).

#### **d. Sel-sel Spermatogenik**

Perkembangan sel spermatogenik di dalam tubuli seminiferi testis dan kualitas sperma merupakan indikator untuk mengontrol fertilitas dari suatu individu. Sel-sel spermatogenik seperti spermatogonia, spermatosit dan spermatid merupakan cikal bakal terbentuknya spermatozoa, sehingga keberadaan sel-sel spermatogenik di tubuli seminiferi testis merupakan tolok ukur untuk menilai fertilitas. Demikian pula dengan kualitas sperma seperti motilitas, konsentrasi, dan abnormalitas (Solihati, *et al.*, 2013).

#### **e. Spermatogenesis**

Spermatogenesis adalah proses proliferasif dan perubahan sitologis yang dilalui dari *germ cells* pada perkembangan dari *stem cells* menjadi spermatozoa matur. *Stem cells* dengan nukleus pucat yang disebut dengan spermatogonia tipe-A terletak di lamina basalis. Pada fase awal spermatogenesis, terdapat pembelahan mitosis. Setengah dari populasi sel tersebut berdiferensiasi menjadi spermatogonia tipe-B, dan sebagian yang lainnya menjadi populasi sel induk. Setiap satu spermatogonium tipe-B menghasilkan dua spermatosit primer yang berbentuk bulat yang terletak di atas spermatogonia. Meiosis terjadi hanya dalam perkembangan sel-sel germinal dari kedua jenis kelamin dan terdiri dari

dua divisi berturut-turut yang mengurangi jumlah kromosom somatik dari nomor 46 ( $44+XY$  pada laki-laki) menjadi  $23(22+X$  atau  $22+Y$  pada spermatozoa) (Fawcetts, 2002).

Lima tahapan dari profase meiosis dapat dibedakan melalui tampilan perubahan dari kromosom dan kromatid pada nucleus spermatosit primer. Tahapan tersebut disebut leptoten, zigoten, paciten, diploten, dan diakinesis. Profase pada meiosis pertama merupakan proses yang lambat yaitu lebih dari 20 hari. Pada tahapan leptoten, kromosom tampak panjang, dan filamen tipis. Kemudian menjadi memendek dan tebal. Pada tahapan zigoten, kromosom homolog berpasangan, proses ini dinamakan sinapsis. Pada paciten, pemendekan kromosom berlanjut, dan pada tahapan diploten setiap pasangan kromosom menduplikasi, menghasilkan empat kromatid sejajar. Batasan dari kromatid pada segmen perubahan pasangan kromosom disebut dengan *crossing-over*. Pada tahapan diakinesis, kromosom homolog memendek dan mulai terpisah, tapi kromosom-kromosom tersebut menempel dengan cepat pada tempat *crossing-over*. Profase diakhiri dengan pelepasan selaput inti dan kromosom bermigrasi ke garis equatorial. Pada metafase, kromosom menyambung dengan sentrosom pada kutub sel yang berlawanan oleh *spindle mitotic*. Pada anafase, tiap pasangan kromosom mempunyai dua kromatid, tersebar dan bermigrasi ke arah kutub. Pada telofase sitoplasma konstiksi, terpisah menjadi dua haploid spermatosit sekunder. Kromosom menuju

garis ekuatorial, dan pada anafase, dua kromatid pada tiap kromosom terpisah dan bermigrasi ke kutub yang berlawanan. Pada telofase, tahapan meiosis kedua lengkap. Tahapan meiosis kedua empat speratid haploid yang berkembang menjadi spermatozoa haploid karena pelepasan bagian dari pasangan XY meiosis, setengah dari spermatozoa mempunyai pelengkap kromosom 22+X, dan sebagian yang lain 22+Y (Fawcetts, 2002).

#### **f. Spermiogenesis**

Spermiogenesis adalah suatu proses morfologik kompleks yang mengubah spermatid bulat menjadi sel sperma yang memanjang. Selama spermiogenesis, ukuran dan bentuk spermatid berubah, dan kromatin nukleus memadat. Pada fase Golgi, terjadi akumulasi granula halus di apparatus Golgi spermatid dan membentuk granula akrosomatikum di dalam vesikula akrosomatika yang terbungkus membran. Selama fase akrosomal, vesikula akrosomatika dan granulum akrosomatikum menyebar di inti spermatid yang memadat di ujung anterior spermatid berupa akrosoma. Akrosoma berfungsi sebagai suatu jenis khusus lisosom dan mengandung beberapa enzim hidrolitik, misalnya hialuronidase dan protease dengan aktivitas mirip tripsin, yang membantu sperma dalam menembus sel (korona radiata) dan membrane (zona pelusida) yang mengelilingi oosit yang berovulasi. Selama vase maturasi (pematangan), membran plasma bergeser ke posterior dari nukleus untuk menutupi *flagellum* (ekor sperma) yang

sedang tumbuh. Mitokondria bermigrasi dan membentuk selubung yang rapat di sekitar pars intermedia *flagellum*. Fase pematangan akhir ditandai oleh terlepasnya kelebihan atau sisa sitoplasma spermatid dan pelepasan sel sperma ke dalam lumen tubulus seminiferus. Sel Sertoli kemudian memfagositosis sisa sitoplasma tersebut (diFiore, 2010).

Sel sperma matang terdiri dari kepala (*caput*) dan akrosoma yang mengelilingi bagian anterior nukleus, leher (*collum*), pars intermedia yang ditandai oleh adanya selubung mitokondria padat, dan bagian utama atau pars prinsipalis (DiFiore, 2010).

#### **g. Sperma**

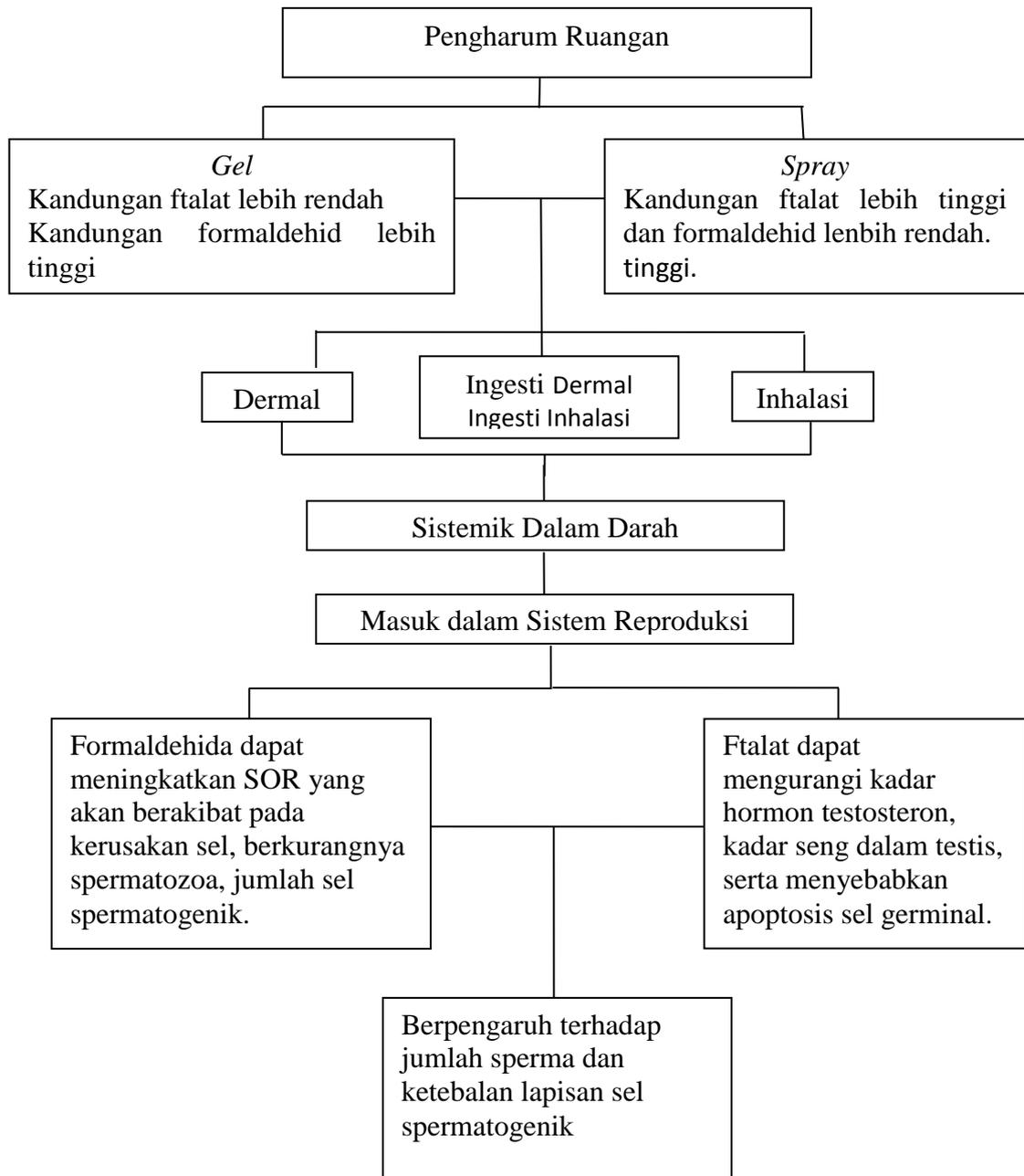
Ketika spermatid dibentuk pertama kali, spermatid tetap memiliki sifat-sifat yang lazim dari sel-sel epiteloid, tetapi spermatid tersebut segera berdeferensiasi dan memanjang menjadi spermatozoa. Masing-masing spermatozoa terdiri dari kepala dan ekor. Kepala terdiri atas inti sel yang padat dengan hanya sedikit sitoplasma dan lapisan membran sel di sekeliling permukaannya. Di bagian luar, dua pertiga anterior kepala terdapat selubung tebal yang disebut akrosom yang terutama dibentuk oleh apparatus Golgi. Selubung ini mengandung sejumlah enzim yang serupa dengan enzim yang ditemukan pada lisosom dari sel-sel yang khas, meliputi *hialuronidase* dan enzim proteolitik yang sangat kuat. Enzim ini memainkan peranan penting sehingga memungkinkan sperma masuk ke ovum dan membuahnya. Sedangkan ekor sperma, yang disebut dengan *flagellum* memiliki tiga komponen

utama yaitu akronema (kerangka pusat yang terbentuk 11 mikrotubulus), membran tipis penutup akronema, dan mitokondria yang mengelilingi akronema (Guyton, 2007).

Ada beberapa faktor yang berperan dalam perangsangan spermatogenesis, diantaranya adalah faktor hormonal :

- 1) Testosteron, disekresi oleh sel-sel Leydig yang penting bagi pertumbuhan dan pembelahan sel-sel germinal testis, yang merupakan tahap pertama pembentukan sperma.
- 2) *Luteinizing Hormone (LH)*, disekresi oleh kelenjar hipofisis anterior, merangsang sel-sel Leydig untuk produksi testosteron.
- 3) *Follicle Stimulating Hormone (FSH)*, disekresi oleh kelenjar hipofisis anterior, merangsang sel-sel Sertoli untuk mengubah spermatid menjadi sperma (proses spermiogenesis).
- 4) Estrogen, dibentuk dari testosteron oleh sel Sertoli, dimungkinkan penting juga dalam perangsangan spermiogenesis.
- 5) Hormon pertumbuhan, diperlukan untuk mengatur latar belakang fungsi metabolisme testis (Guyton, 2007).

## B. KERANGKA KONSEP



### C. HIPOTESIS

1. Pendedahan pewangi ruangan *spray* dan *gel* berpengaruh terhadap penipisan dari ketebalan lapisan sel spermatogenik dan penurunan jumlah sperma bayi *Rattus norvegicus*.
2. Pendedahan pewangi ruangan *spray* lebih berpengaruh terhadap penipisan dari ketebalan lapisan sel spermatogenik dan penurunan jumlah sperma bayi *Rattus norvegicus* dibandingkan dengan pendedahan pewangi ruangan *gel*.