

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. PENCEMARAN UDARA**

Udara merupakan salah satu elemen penting dalam kehidupan manusia dan makhluk bernyawa lainnya di bumi ini. Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), udara merupakan campuran berbagai gas yang tidak berwarna dan tidak berbau (seperti oksigen dan nitrogen) yang memenuhi ruang di atas bumi seperti yang kita hirup apabila kita bernapas.

Polusi atau pencemaran udara adalah dimasukkannya komponen lain ke dalam udara, baik oleh kegiatan manusia secara langsung atau tidak langsung maupun akibat proses alam sehingga kualitas udara turun sampai ke tingkatan tertentu yang menyebabkan udara lingkungan menjadi kurang atau tidak dapat berfungsi lagi sesuai peruntukannya. Setiap substansi yang merupakan bagian dari komposisi udara normal disebut sebagai polutan (Candra, 2005).

Kualitas udara dalam ruang dipengaruhi oleh banyak faktor, yaitu bahan bangunan (misalnya asbes), struktur bangunan (misalnya ventilasi), bahan pelapis untuk furnitur serta interior (pada pelarut organiknya), kepadatan hunian, kualitas udara luar rumah (*ambient air quality*), radiasi dari Radon (Rd), formaldehid, debu, dan juga kelembaban yang berlebihan. Bahan-bahan kimia tersebut dapat mengeluarkan polutan yang dapat bertahan dalam rumah untuk jangka waktu yang cukup lama (Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 1077, 2011).

Menteri Kesehatan Republik Indonesia dalam peraturannya nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara dalam Ruang Rumah menyatakan bahwa terdapat persyaratan kualitas udara dalam ruang rumah meliputi :

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

**Tabel 2.1** Parameter kualitas fisik (Kementerian Kesehatan, 2011)

| No. | Jenis Parameter   | Satuan            | Kadar yang dipersyaratkan |
|-----|-------------------|-------------------|---------------------------|
| 1.  | Suhu              | °C                | 18 – 30                   |
| 2.  | Pencahayaan       | Lux               | Minimal 60                |
| 3.  | Kelembaban        | %Rh               | 40 – 60                   |
| 4.  | Laju Ventilasi    | m/detik           | 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 (Plumbum=Pb), asap rokok (*Environmental Tobacco Smoke*/ETS), Asbes, Formaldehid (HCHO), *Volatile Organic Compound* (VOC).

**Tabel 2.2** Parameter kualitas kimia (Kementerian Kesehatan, 2011)

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

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

**Tabel 2.3** Parameter kualitas biologi (Kementerian Kesehatan, 2011)

| No. | Jenis Parameter | Satuan             | Kadar Maksimal           |
|-----|-----------------|--------------------|--------------------------|
| 1.  | Jamur           | CFU/m <sup>3</sup> | 0 CFU/m <sup>3</sup>     |
| 2.  | Bakteri patogen | CFU/m <sup>3</sup> | 0 CFU/m <sup>3</sup>     |
| 3.  | Angka kuman     | CFU/m <sup>3</sup> | < 700 CFU/m <sup>3</sup> |

## B. PEWANGI RUANGAN

Pewangi ruangan merupakan sebuah pewangi yang digunakan untuk menghilangkan bau udara di ruangan dengan menggunakan bahan kimia atau aroma yang menyegarkan. Pewangi ruangan yang dikenal tidak mengurangi polutan di udara, namun menambah lebih banyak zat polutan ke udara dan memiliki aroma yang kuat untuk menutupi bau tak sedap (Kim *et al.*, 2015).

Komponen terbesar yang terkandung di dalam pewangi ruangan berupa *Volatile Organic Compounds* (VOC) seperti benzena, toluena, etilen, dan *limonene* yang memiliki efek toksik. VOC merupakan senyawa hidrokarbon yang mengalami evaporasi secara mudah dan memiliki tekanan uap air yang tinggi. Senyawa ini dapat menghasilkan ozon dan bau karena volatilitasnya yang tinggi dan titik didih yang rendah (Kim *et al.*, 2015).

Menurut *National Resource Defense Council* (2007), pewangi ruangan mengandung ftalat yang berpengaruh pada hormon dalam tubuh dan mengganggu kesehatan. Ftalat telah diketahui dapat mengganggu produksi hormon pada pria, seperti testosteron dan berhubungan dengan abnormalitas pada organ reproduksi. Howdeshell *et al.* (2007), memaparkan pelunak di(n-butyl) ftalat (DBP) dan dietilheksil ftalat (DEHP) selama fase diferensiasi seksual menyebabkan malformasi saluran reproduksi pada tikus dan kelinci jantan. Didapatkan pula pada janin tikus jantan, dua ester ftalat ini dapat menurunkan produksi testosteron dan ekspresi gen *insulin-like peptide 3* (insl3), sebuah hormon penting untuk perkembangan *ligament gubernacular*.

Pewangi ruangan seperti yang telah kita ketahui, tersusun oleh beberapa substansi, yaitu :

**Tabel 2.4** Kandungan pewangi ruangan serta nilai maksimum dan minimumnya (Kim *et al.*, 2015)

| No. | Senyawa           | Max. (mg/kg) <sup>b</sup> | Min. (mg/kg) <sup>c</sup> |
|-----|-------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1.  | Benzena           | 0,7                       | 0,005                     |
| 2.  | Formaldehid       | 96                        | 4,9                       |
| 3.  | Benzil Alkohol    | 46,4                      | 7,8                       |
| 4.  | <i>d-limonene</i> | 1,507                     | 0,15                      |
| 5.  | <i>Linalool</i>   | 228                       | 93                        |
| 6.  | <i>α-pinene</i>   | 596,3                     | 0,06                      |
| 7.  | Toluena           | 11,9                      | 0,04                      |
| 8.  | Xilena            | 0,7                       | 0,003                     |

#### 1) Formaldehid

Formaldehid merupakan sebuah senyawa organik paling sederhana dari aldehyd dan digunakan dalam jumlah besar pada banyak proses pengolahan zat-zat kimia. Formaldehid juga disebut dengan metanol (HCHO). Senyawa ini dihasilkan terutama pada fase penguapan dari oksidasi metanol dan biasanya dijual sebagai formaldehid, berupa larutan 37 %. (*Encyclopaedia Britannica*, 2014)

Formaldehid merupakan gas yang tidak berwarna dan transparan, memiliki bau menyengat yang sangat kuat dan menguap pada suhu ruang. Beberapa bukti menunjukkan bahwa formaldehid diemisikan dari pewangi ruangan dalam tingkatan tertentu (51 – 69  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Lilin aromatik dan pewangi elektrik menghasilkan formaldehid dengan tingkatan mencapai 13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (*Bureau Europeen Des Unions De Consommateurs*, 2005).

Formaldehid dapat berpengaruh terhadap tubuh ketika terhirup uap atau tersentuh cairannya. Efek yang paling umum dari

paparan berlebihan adalah iritasi mata, hidung, dan tenggorokan. Organ ini dapat teriritasi oleh uap formaldehid pada level rendah yaitu sekitar 0,3 ppm. Paparan ini dapat menyebabkan kemerahan, mata berair dan rasa terbakar, bersin dan batuk, serta tenggorokan terasa serak. Larutan formaldehid yang berkontak langsung dengan mata dapat merusak kornea, kemungkinan bisa menyebabkan kebutaan (Departemen Kesehatan Masyarakat California, 2011). Selain itu, dalam penelitian yang dilakukan oleh Vosoughi *et al.* (2013), disebutkan bahwa uap formaldehid memberikan pengaruh negatif pada beberapa parameter sperma tikus, termasuk penurunan jumlah, ketahanan, morfologi, motilitas sperma serta terjadi peningkatan persentase jumlah sperma immotil.

Formaldehid sangat berbahaya dalam tubuh, terlebih bila kadarnya sangat tinggi, karena akan bereaksi secara kimia dengan hampir semua zat di dalam sel, sehingga akan menekan fungsi sel dan menyebabkan kematian sel yang berakhir pada kerusakan organ tubuh. Formaldehid juga merupakan senyawa oksigen reaktif (SOR) dan sumber radikal oksigen bebas (Heryani *et al.*, 2011)

Paparan formaldehid menyebabkan peningkatan reaktivitas SOR yang akan merusak DNA, protein, dan lipid yang menyusun membran sel. Keadaan ini membuat enzim *Superoxide Dismutase* (SOD) menurun. SOD diketahui berperan sebagai antioksidan enzimatis, karena SOD, katalase dan *glutathione* merupakan pemangsa utama yang terlibat dalam inaktivasi dan terminasi radikal oksigen

bebas. Apabila antara kadar antioksidan dan banyaknya senyawa SOR tidak seimbang, maka akan terjadi kondisi yang disebut stress oksidatif dan menyebabkan infertilitas (Heryani *et al.*, 2011)

## 2) Ftalat

Ftalat banyak digunakan pada produk-produk rumah tangga termasuk mainan plastik anak-anak, bahan perekat, pemoles kuku, parfum, dan pewangi ruangan. Setiap pewangi ruangan yang berlabel “*unscented*” dan “*all natural*” mengandung senyawa ftalat. Ftalat dalam pewangi ruangan berfungsi sebagai pelarut untuk membuat wanginya bertahan lama. (Kim *et. al.*, 2015)

Ftalat yang terhirup oleh manusia dapat mempengaruhi jumlah hormon dan menyebabkan masalah kesehatan. Ftalat mengganggu produksi hormon seperti testosteron dan berhubungan dengan abnormalitas reproduksi. Ftalat juga dapat menyebabkan infertilitas, penurunan jumlah sperma, kriptorkidisme, hipospadia, dan defek saluran reproduksi lain yang berhubungan dengan sindrom ftalat (Slechta *et al.*, 2008).

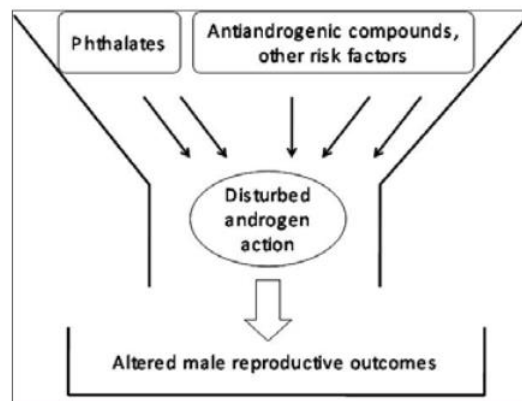
Banyak macam dari ftalat yang terkandung dalam pewangi ruangan, yaitu :

**Tabel 2.5** Macam-macam ftalat dan pengaruhnya terhadap kesehatan (Fong *et al.*, 2015 & Wolkoff, 2013)

|                                       | Source                           | Health Effect   |
|---------------------------------------|----------------------------------|---|
| <b>Di-ethylhexyl phthalate (DEhP)</b> | Produk yang berkaitan dengan PVC | Toksisitas reproduksi, berpengaruh pada perkembangan, karsinogen liver, hepatoksin, mutagen |

|  |  |  |
|--|--|--|
| <b><i>Diethyl phthalate (DEP)</i></b>      | Pewangi ruangan, kosmetik                  | Karsinogenik, mutagen  |
| <b><i>Dibuthyl phthalate (DBP)</i></b>     | Kosmetik, tinta printer, lem, lapisan film | Mutagen dan karsinogen, toksisitas reproduksi                            |
| <b><i>Butyl benzyl phthalate (BBP)</i></b> | Ubin lantai, karpet, poliuretan            | Toksistas reproduksi, toksistas perkembangan karsinogenik, toksistas gen |

Pewangi ruangan mengandung ftalat dengan jumlah yang berbeda-beda. Pewangi ruangan yang biasanya digunakan oleh konsumen biasanya mengandung 0,12 ppm DBP serta 0,49 – 7,3 DEHP dan DEP. (Kim *et. al.*, 2015)



**Gambar 2.1** Pengaruh ftalat terhadap sistem reproduksi (Slechta *et al.*, 2008)

Pengaruh ftalat dapat dijelaskan melalui gambar di atas. Ftalat dan senyawa antiandrogenik lain masuk ke tubuh, kemudian mengganggu aktivitas dari hormon androgen. Akhirnya mengakibatkan sistem reproduksi pria terganggu (Slechta *et al.*, 2008).

### 3) Toluena dan Xilena



Toluena dan xilena sering kali digunakan dalam pewangi ruangan. Toluena bersifat tidak berwarna, mudah menguap, dan mudah terbakar, yang dapat dideteksi pada konsentrasi tertinggi yaitu  $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$  di bawah kondisi udara ruangan (*Bureau Europeen Des Unions De Consommateurs*, 2005). Sekitar 50% toluena yang terhirup akan diserap oleh sistem respiratorius. Efek utama dari paparan toluena meliputi iritasi mata dan hidung seperti efek narkotik pada sistem saraf pusat (sakit kepala, ngantuk, pusing). Paparan pada konsentrasi tinggi toluena dapat menyebabkan kerusakan ginjal (*Bureau Europeen Des Unions De Consommateurs*, 2005). Paparan toluena sebanyak  $7500 \text{ mg}/\text{m}^3$  (2000 ppm) selama 6 jam sehari dapat menyebabkan reduksi jumlah sperma yang signifikan dan penurunan berat epididimis (*Public Health England*, 2015).

Xilena dapat ditemukan di deterjen cair dan berbagai jenis pewangi ruangan. Xilena terdeteksi pada konsentrasi  $2,24 \times 10^{-8} \text{ mg}/\text{m}^3$ , namun ketika jumlahnya kurang dari 0,25 ppm, xilena tidak dapat terdeteksi (Nazaroff & Weschler, 2006; Lim *et al.*, 2014). Menurut Campbell dan Kim (2012), pada studi epidemiologi *cross sectional* didapatkan bahwa paparan xilena berhubungan dengan indikator penurunan fungsi prostat. Kemudian pada studi inhalasi yang dilakukan pada seekor tikus dilaporkan terdapat penurunan berat testis dan organ reproduksi aksesoris pada pria, tingkat testosteron plasma yang rendah, dan aktifitas asam fosfatase prostat yang rendah karena paparan xilena pada hewan.

#### 4) Terpena (*d-limonene*)

Terpena merupakan salah satu jenis dari VOC yang banyak terdapat di alam, umumnya sebagai penyusun utama dari senyawa aromatik dan minyak esensial. Karena baunya yang enak, terpena digunakan secara luas sebagai bahan dalam pewangi ruangan. Terpena berperan sekitar 13% dari total konsentrasi VOC yang terdapat dalam kayu pinus yang digunakan sebagai bahan untuk lantai (Kim *et al.*, 2015).

*D-limonene* merupakan salah satu jenis monoterpena yang digunakan secara luas sebagai pewangi atau tambahan dalam produk kosmetik, makanan, dan pelarut industri yang beraroma mirip lemon. Senyawa ini dapat menyebabkan sensitisasi dan iritasi kulit yang potensial dalam penggunaan secara luas (YW *et al.*, 2013). Senyawa ini ditambahkan ke dalam pewangi ruangan yang mengandung konsentrasi dengan rentang dari tidak terdeteksi hingga 2000  $\mu\text{g}/\text{m}^2$  (Bureau Europeen Des Unions De Consommateurs, 2005).

#### 5) Benzena

Benzena merupakan jenis hidrokarbon aromatis yang tidak berwarna, mudah menguap, dan berupa cairan yang bersifat mudah terbakar. Paparan benzena biasanya terjadi lewat inhalasi dari udara yang berpolutan, mengkonsumsi makanan yang terkontaminasi, dan paparan kulit (Kim *et al.*, 2015). Sampel pewangi berbentuk dupa yang

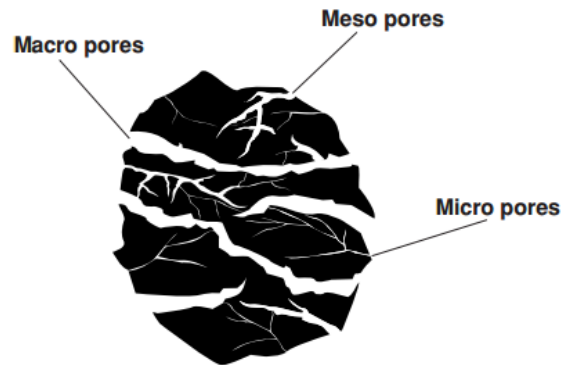
diselidiki oleh *Bureau Europeen des Consommateurs* (BEUC) mengemisikan benzena dan konsentrasinya mencapai  $221 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pada udara ruang. Pewangi ruangan berbentuk cair juga mengemisikan senyawa ini dan konsentrasinya di udara mencapai  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (*Bureau Europeen Des Unions De Consommateurs*, 2005).

Benzena memiliki efek yang buruk terhadap kesehatan. Menurut *American Cancer Society* (2016), efek jangka pendek yang ditimbulkan oleh inhalasi benzena dalam dosis tinggi dapat mempengaruhi sistem saraf, yang memicu rasa kantuk, pusing, sakit kepala, gemetar, bingung, dan/atau tidak sadarkan diri. Pada kasus yang ekstrim, menghirup atau menelan benzena dalam dosis tinggi bisa menyebabkan kematian. Paparan kulit pada benzena menyebabkan kemerahan dan kulit yang melepuh. Sedangkan efek jangka panjang paparan benzena dapat membahayakan sumsum tulang. Hal ini dapat mengakibatkan anemia yang menyebabkan seseorang merasa lemah dan letih, penurunan angka sel darah putih yang dapat menurunkan kemampuan tubuh melawan infeksi, serta penurunan jumlah platelet yang dapat memicu memar dan perdarahan.

### **C. KARBON AKTIF**

Karbon aktif adalah istilah umum yang digunakan untuk substansi penyerap yang berbentuk kristal, mempunyai struktur pori-pori besar yang membuat karbon menjadi lebih adsorben. Karbon aktif menjadi bahan populer dan termurah yang digunakan untuk pemurnian alkohol dan

dibuat dari bahan baku alami yang sangat mudah ditemukan. Kebanyakan karbon aktif diregenerasi (dibersihkan) dan digunakan ratusan bahkan ribuan kali (Strand, 2001).



**Gambar 2.2** Struktur karbon aktif (Strand, 2001)

Karbon aktif terbuat dari berbagai macam bahan baku yang dipanaskan dan mendapatkan perlakuan khusus. Selama perlakuan, beberapa bagian karbon berubah menjadi gas dan meninggalkan pori-pori. Ada ratusan jenis karbon di pasaran, tetapi hanya beberapa karbon yang cocok untuk pemurnian alkohol. Beberapa tipe karbon membuat alkohol lebih buruk dibandingkan dengan sebelum disaring. Efektivitas karbon bergantung pada kemampuannya untuk menyerap susbtansi khusus, bergantung pada sifat kimia dan fisika yang dimiliki oleh karbon (Strand, 2001).

Pori-pori karbon terdiri atas :

- a. Mikro pori dengan radius kurang dari 1 nm (pori-pori kecil)
- b. Meso pori dengan radius 1-25 nm (pori-pori sedang)
- c. Makro pori dengan radius lebih dari 25 nm (pori-pori besar)

Pori yang besar digunakan untuk mentranspor cairan melewati karbon dan penyerapan terjadi pada pori sedang dan kecil. Pori-pori

terbentuk selama proses pembuatan, ketika karbon telah aktif. Pengaktifan pada dasarnya berarti bahwa pori-porinya dibentuk dalam sebuah material non-pori oleh reaksi kimia. Ada 2 perbedaan metode untuk membentuk pori pada karbon dan setiap metode tersebut menghasilkan struktur pori yang benar-benar berbeda, yaitu :

- a. Aktivasi kimia
- b. Aktivasi oleh uap

Makro pori yang besar berperan sebagai saluran yang melewati karbon ke meso dan mikro pori. Karbon aktif granular selalu memiliki makro pori, tetapi karbon aktif bubuk sering tidak mempunyai makro pori sejak penggilingan, karbon terdiri atas partikel yang sangat kecil (Strand, 2001).

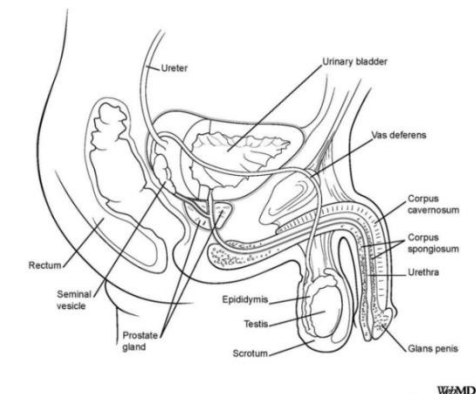
Penggunaan utama karbon aktif adalah untuk menghilangkan produk yang mengandung VOC di udara, seperti hidrokarbon, bau udara organik dan beracun. Pada proses penyerapannya, molekul senyawa VOC yang mengkontaminasi udara tertarik dan terakumulasi di permukaan karbon aktif (Shepherd, 2001). Ada 2 jenis mekanisme penyerapan (adsorpsi) oleh karbon aktif, yaitu adsorpsi fisik (fisorpsi) dan adsorpsi kimia (kemisorpsi). Pada proses fisorpsi, adsorben akan mengikat adsorbat melalui gaya Van der Waals (Castellan, 1982, dikutip dalam Kamal, 2009). Sedangkan pada proses adsorpsi kimia, interaksi antara adsorbat dengan adsorben terjadi melalui pembentukan ikatan kimia. Proses kemisorpsi diawali dengan adsorpsi fisik, yaitu partikel-partikel adsorbat mendekat ke permukaan adsorben melalui gaya Van der Waals atau melalui ikatan

hidrogen kemudian diikuti oleh adsorpsi kimia (Kamal, 2009). Karbon yang digunakan sebagai adsorben adalah karbon yang memiliki permukaan yang luas. Karbon dapat dibuat dari berbagai bahan dasar seperti batubara, kayu, dan batok kelapa yang dibakar dengan suhu yang tinggi dan terkendali (Shepherd, 2001).

#### **D. SISTEM REPRODUKSI PRIA**

Sistem reproduksi pria merupakan salah satu sistem di tubuh manusia yang terdiri atas organ eksternal dan internal yang berfungsi untuk memproduksi, mendukung, mentransportasi, dan mengantarkan sperma aktif ke sasaran untuk melakukan proses reproduksi. Organ reproduksi pada laki-laki terdiri atas skrotum, testis, epididimis, duktus deferens, korda spermatika, duktus ejakulatorius, glandula bulbouretralis, kelenjar prostat, uretra, penis. (Klaassen, 2013)

Selama masa prenatal, organ seks laki-laki terbentuk di bawah pengaruh dari hormon testosteron yang disekresi oleh testis janin. Selama pubertas, organ seks sekunder lebih berkembang dan menjadi fungsional. Sperma diproduksi di testis dan dibawa melewati epididimis, duktus deferens, duktus ejakulatorius, dan uretra. Bersamaan dengan itu, vesika seminalis, glandula prostat, dan glandula bulbouretra memproduksi cairan semen yang memberi nutrisi dan memelihara sperma yang dikeluarkan dari penis ketika ejakulasi dan melewati proses fertilisasi (Klaassen, 2013).



**Gambar 2.3** Organ-organ pada saluran reproduksi pria (Klaassen, 2013)

### 1. Testis

Testis adalah organ reproduksi primer laki-laki yang berfungsi memproduksi testosteron dan sperma. Setiap testis memiliki ukuran panjang 4-5 cm, lebar 2-3 cm, berat 10-14 g dan digantung di dalam skrotum oleh otot dartos dan korda spermatika. Setiap testis dilindungi oleh tunika vaginalis testis, tunika albuginea, dan tunika vaskulosa (Klaassen, 2013).

Testis tersusun atas beberapa struktur, yaitu : a) Stroma yang terdiri atas kapsul yang tebal dari jaringan ikat padat, b) Tunika Albuginea. Tunika albuginea sangat tipis dan memunyai jaringan ikat longgar berupa septula testis. Septula membagi parenkim testis menjadi sekitar 250-370 lobulus (Krstic, 1997).

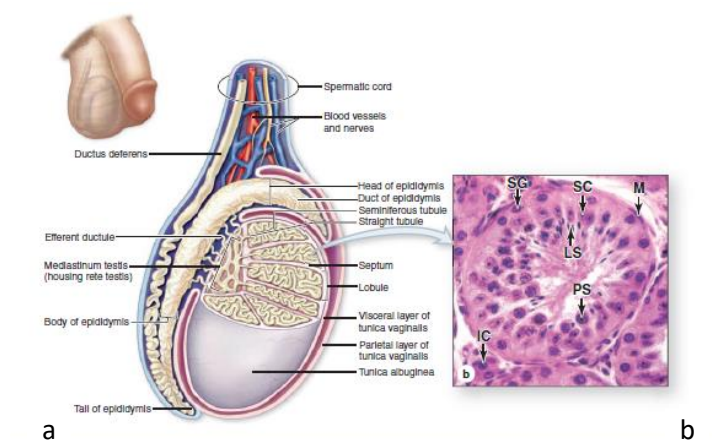
Setiap parenkim terdiri atas 500-1000 struktur yang sangat berbelit-belit yang disebut tubulus seminiferus. Struktur ini berawal dan berakhir menjadi rete testis pada mediastinum testis. Setiap lobulus berisi 2 atau 3 tubulus seminiferus. Tubulus seminiferus merupakan saluran yang sangat melingkar, memiliki diameter 180 – 280  $\mu\text{m}$ , dan

memproduksi sperma. Setiap tubulus seminiferus memiliki panjang sekitar 30-70 cm dan total panjangnya yaitu 250 – 350 m. (Krstic, 1997)

Tubulus seminiferus dibatasi oleh epitelium seminiferus yang tebal berukuran 60-80  $\mu\text{m}$  dan dikelilingi oleh lamina basal, diikuti lamina propria tipis yang berisi satu atau beberapa lapis myofibrillas peritubular dan beberapa fibroblas serta fibrosit. Gerakan ritmik dari myofibroblas yang berasal dari impuls saraf independen secara bertahap membawa sperma bergerak menuju rete testis. (Krstic, 1997)

## 2. Histologi Testis

### a. Tubulus Seminiferus

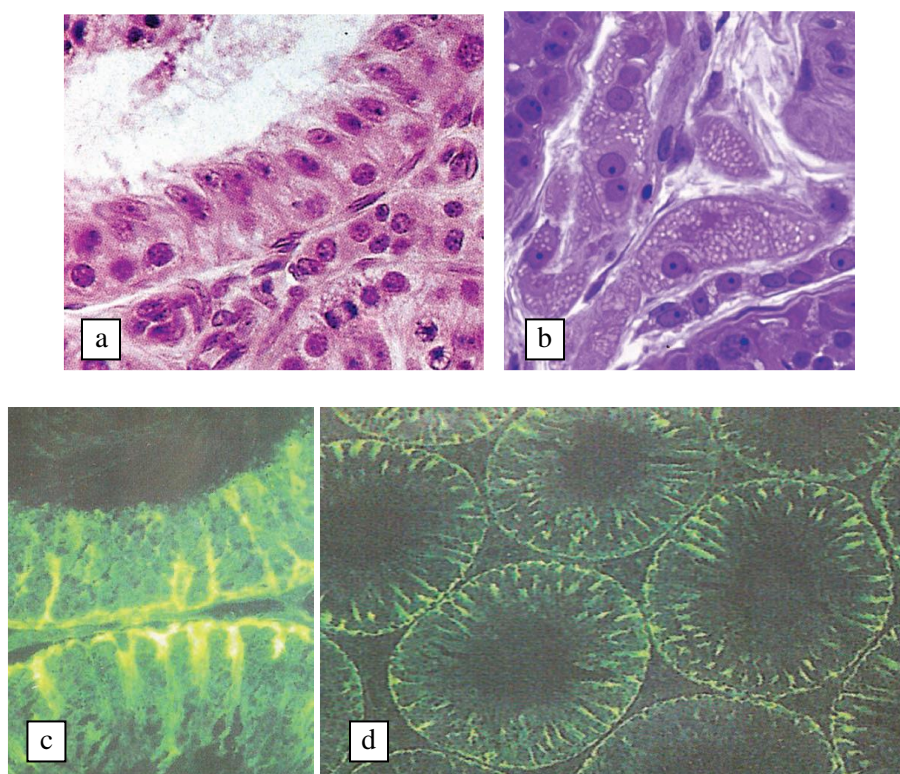


**Gambar 2.4** (a) Anatomi testis, (b) potongan melintang tubulus seminiferus

Sperma diproduksi di dalam tubulus seminiferus sekitar  $2 \times 10^8$  setiap hari pada orang dewasa muda. Setiap testis mempunyai 250 hingga 1000 tubulus pada setiap lobulusnya, dan setiap tubulus memiliki diameter berukuran 150-250  $\mu\text{m}$  dan panjang 30-70 cm. Panjang seluruh tubulus dalam satu testis adalah sekitar 250 m. Pada



ujung setiap lobulus, lumennya menyempit dan berlanjut ke dalam ruas pendek yang dikenal dengan tubulus rektus, atau tubulus lurus, yang menghubungkan tubulus seminiferus dengan labirin saluran-saluran berlapis epitel yang bersinambungan, yaitu rete testis. Rete ini terdapat dalam jaringan ikat mediastinum, dihubungkan dengan bagian kepala epididimis oleh 10-20 duktulus eferentes (Junqueira *et al.*, 2013).



**Gambar 2.5** (a) Tubulus seminiferus yang dikelilingi oleh jaringan ikat yang mengandung banyak sel interstitial, (b) Bagian seperti plastik menunjukkan tetesan lipid yang mengisi sitoplasma sel interstitial berkelompok, (c) Imunohistokimia dinding tubulus seminiferus, (d) Perbesaran lemah dari distribusi dan kepadatan sel Sertoli

Setiap tubulus seminiferus dibatasi oleh epitel berlapis kompleks khusus yang disebut epitel germinal atau sperma. Dasar

membran dari epitelium ini dilapisi oleh jaringan ikat fibrosa dengan lapisan terdalam yang berisi otot polos mirip sel myoid yang rata, yang memungkinkan kontraksi lemah dari tubulus (Junqueira *et al.*, 2013).

#### **b. Sel Sertoli**

Sel sertoli merupakan sel yang mendukung tubulus seminiferus. Sel ini berasal dari korda seks epitel dari gonad yang berkembang, berbentuk kolumnar simpleks panjang, yang meluas dari membran ke lumen. Sel sertoli melingkupi perkembangan dan diferensiasi kantung sel germinal di sekitar sel ini serta menyediakan nutrisi. Sel sertoli terhubung satu sama lain dengan hubungan yang kuat dan membagi tubulus menjadi 2 bagian, yaitu : basal (dekat dengan lamina basal) dan adluminal yang menuju lumen (*Faculty of Biological Sciences, University of Leeds, 2016*).

Dasar sel sertoli melekat pada lamina basalis, sedangkan ujung apeksnya sering meluas menuju lumen tubulus seminiferus. Setiap sel Sertoli mendukung perkembangan 30 sampai 50 sel germinal. Secara struktural, sel Sertoli berisi banyak retikulum endoplasma halus, sedikit retikulum endoplasma kasar, badan golgi, serta mitokondria dan lisosom. Intinya memanjang, berbentuk segitiga, memiliki banyak lipatan, eukromatik dan sebuah nukleus

yang mencolok, beberapa keistimewaan sel Sertoli yang dapat dibedakan dari sel germinal yang lain (Junqueira *et al.*, 2013).

Sel sertoli mempunyai 4 fungsi utama, yaitu :

- 1) Mendukung, melindungi, dan menyediakan nutrisi spermatozoa yang berkembang
- 2) Sekresi Eksokrin dan Endokrin
- 3) Fagositosis

Selama proses spermiogenesis, kelebihan sitoplasma dilepaskan sebagai badan sisa (residu). Sitoplasma kemudian difagositosis dan dicerna oleh lisosom sel Sertoli (Junqueira *et al.*, 2013).

### **c. Jaringan Interstitial**

Jaringan interstitial testis terletak di antara tubulus seminiferus yang terdiri atas jaringan ikat longgar yang berisi banyak fibroblas, pembuluh darah dan limfe, termasuk kapiler fenestrata. Selama masa pubertas, sel interstitial atau sel Leydig berkembang sebagai sel yang bulat dan besar atau poligonal dengan inti di tengah dan sitoplasma eosinofilik yang kaya akan tetesan lemak kecil. Sel ini memproduksi hormon steroid yaitu testosteron, yang menyebabkan perkembangan dari karakteristik seks sekunder pria (Junqueira *et al.*, 2013).

Sekresi testosteron oleh sel interstitial dipicu oleh kelenjar pituitary gonadotropin, *Luteinizing Hormone* (LH), yang disebut juga *Interstitial Cell Stimulating Hormone* (ICSH). Sintesis

testosteron bermula pada awal pubertas, ketika hipotalamus mulai memproduksi *gonadotropin-releasing hormone*. Pada gonadotropin testis embrio fase akhir dari plasenta dapat memicu sel interstitial untuk mensintesis testosteron yang dibutuhkan untuk perkembangan saluran dan kelenjar sistem reproduksi pria. Sel interstitial fetus ini sangat aktif selama bulan ketiga dan keempat dari kehamilan, kemudian mengalami regresi dan menjadi sel tidak aktif yang menyerupai fibroblas hingga masa pubertas. Pada masa pubertas, sel-sel interstitial tersebut melanjutkan sintesis testosteron dalam respon terhadap kelenjar pituitari gonadotropin. (Junqueira *et al.*, 2013)

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

Perkembangan sel-sel spermatogenik di dalam tubulus seminiferus testis dan kualitas sperma merupakan salah satu indikator yang digunakan untuk mengontrol fertilitas dari suatu individu. Sel-sel sperma yaitu spermatogonia, spermatosit dan spermatid merupakan promotor terbentuknya spermatozoa, sehingga keberadaan sel-sel spermatogenik di tubulus seminiferus testis merupakan indikator untuk menilai fertilitas. Demikian pula halnya dengan kualitas sperma seperti motilitas, konsentrasi dan abnormalitas. Baik sel-sel spermatogenik maupun kualitas sperma dapat dikendalikan untuk mengontrol fertilitas dan dapat dijadikan

tolok ukur untuk melihat efek antifertilitas dari suatu bahan percobaan (Solihati *et al.*, 2013).

Sel sperma meliputi jenis sel menurut morfologinya yaitu spermatogonium, spermatosit primer, spermatosit sekunder, spermatid, dan spermatozoa. Secara ontogenetik, jenis sel sperma tidak ada perbedaan, tetapi terjadi tahapan yang berturut-turut dari proses setelah terjadi proliferasi dan diferensiasi yang memicu formasi dari pematangan diferensiasi sperma (Gupta, 2005).

#### **e. Spermatogenesis**

Istilah spermatogenesis meliputi seluruh urutan kejadian proliferasi dan perubahan sitologis dari sel germinal awal pria, spermatogonia, menjadi sperma matang. Pada fase pertama spermatogenesis, spermatogonia tipe A menjalani seri divisi yang menambah jumlah dan meningkat menjadi spermatogonia tipe B. Divisi generasi spermatogonia akhir ini menghasilkan spermatosit primer. Pada fase kedua spermatogenesis, meiosis, spermatosit mengalami dua divisi maturasi yang mengurangi separuh jumlah kromosom dan menghasilkan kelompok spermatid. Pada fase ketiga, yang disebut spermiogenesis, spermatid berjalan melalui urutan transformasi sitologis yang memuncak pada pelepasan spermatozoa ke dalam lumen tubulus seminiferus (M, Dym dan Fawcett, 2002).

Spermatogenesis terjadi di tubulus seminiferus selama masa seksual aktif akibat stimulasi oleh hormon gonadotropik hipofisis anterior, yang dimulai rata-rata pada umur 13 tahun dan terus

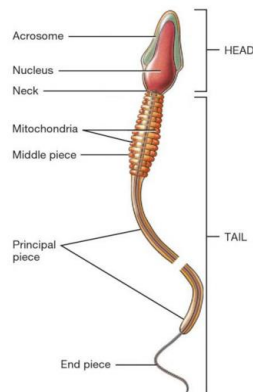
berlanjut hampir di seluruh sisa kehidupan, namun sangat menurun pada usia tua. Pada tahap pertama spermatogenesis, spermatogonia bermigrasi di antara sel-sel Sertoli menuju lumen sentral tubulus seminiferus. Sel-sel Sertoli ini sangat besar, dengan pembungkus sitoplasma yang sangat banyak yang mengelilingi spermatogonia yang sedang berkembang sampai ke bagian sentral lumen tubulus (Guyton & Hall, 2006).

#### **f. Spermiogenesis**

Spermiogenesis, fase akhir dari produksi sperma, merupakan proses diferensiasi spermatid menjadi spermatozoa yang sensitif terhadap suhu, yang sangat dikhususkan untuk mengirim DNA pria ke ovum. Tidak terjadi pembelahan sel selama proses ini, dan sama seperti spermatogenesis, sel-sel ini masih terlibat hubungan dengan sel Sertoli (Junqueira *et al.*, 2013).

Spermatid haploid berukuran kecil (diameternya 7-8  $\mu\text{m}$ ), selnya berada di dekat lumen tubulus seminiferus. Spermiogenesis mencakup pembentukan akrosom (dalam bahasa Yunani, *Akron* berarti ekstremitas, dan *soma* berarti badan), kondensasi dan pemanjangan inti, perkembangan flagella, dan hilangnya banyak sitoplasma. Hasil akhirnya adalah spermatozoa matang, yang dikeluarkan dari permukaan sel Sertoli ke dalam lumen tubulus (Junqueira *et al.*, 2013).

### g. Sperma



**Gambar 2.6** Morfologi sperma (Wiley *et al.*, 2015)

Setiap sperma mempunyai 4 komponen yang berbeda, yaitu kepala, leher, bagian tengah sperma dan ekor. Kepalanya berisi nukleus dengan kromosom yang padat dan sebuah kompartemen disebut akrosom yang mengandung enzim untuk membantu penetrasi penting dalam fertilisasi. Leher dan bagian tengah sperma mengandung mitokondria, yang menyediakan energi untuk bergerak. Ekor merupakan satu-satunya flagel di dalam tubuh manusia. Organel yang berbentuk seperti cambuk tersebut menggerakkan sperma menggunakan cambuknya, bergerak melewati sistem reproduksi wanita menuju ovum (Wiley *et al.*, 2015).

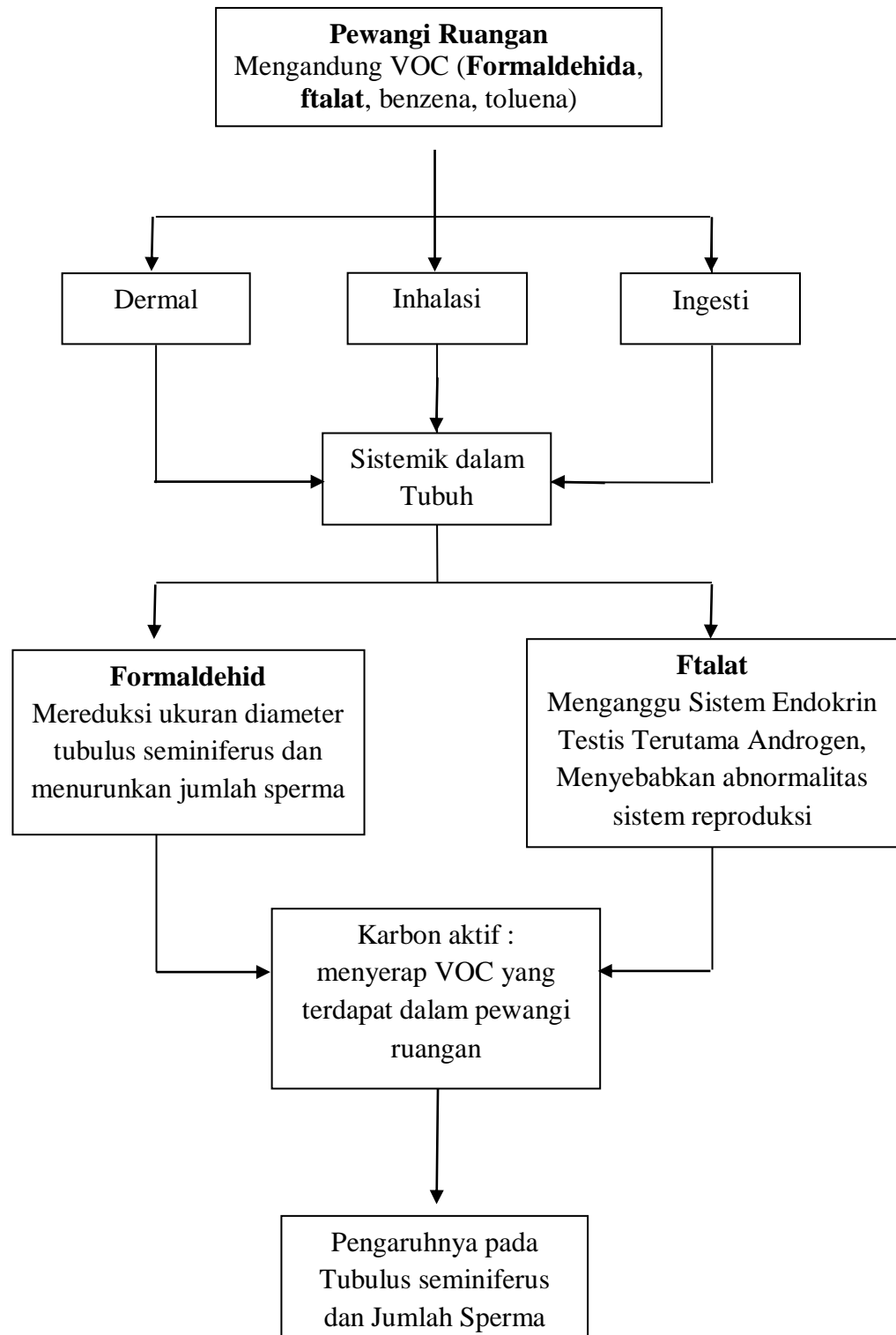
Sperma yang telah terbentuk masuk ke dalam epididimis melewati saluran kecil yang disebut rete testis. Epididimis yang

berbentuk bulan sabit tersebut berperan sebagai tempat menyimpan sperma matang dan mendapatkan nutrisi untuk pertumbuhannya selama beberapa minggu sebelum melanjutkan perjalanannya. Kemungkinan terdapat 300 juta sperma matang yang diproduksi setiap harinya. Ketika sperma tiba di kedua vas deferens pada tahap akhir, dari sana sperma berjalan ke dalam vesikula seminalis. Cairan kemudian dikeluarkan ke dalam duktus ejakulatorius di kelenjar prostat (Wiley *et al.*, 2015).

Cairan yang disekresikan oleh kelenjar prostat memiliki konsistensi seperti susu alkalin dan berperan sebagai pelindung sperma dari lingkungan vagina yang asam untuk pertahanan sperma saat ejakulasi. Cairan yang dipenuhi sperma kemudian meninggalkan duktus ejakulatorius dan bergerak menuju uretra dari tempat di mana sperma diejakulasikan selama hubungan seksual atau masturbasi. Sperma secara umum hanya mempunyai waktu bertahan selama 48 jam di dalam sistem reproduksi wanita (Wiley *et al.*, 2015).

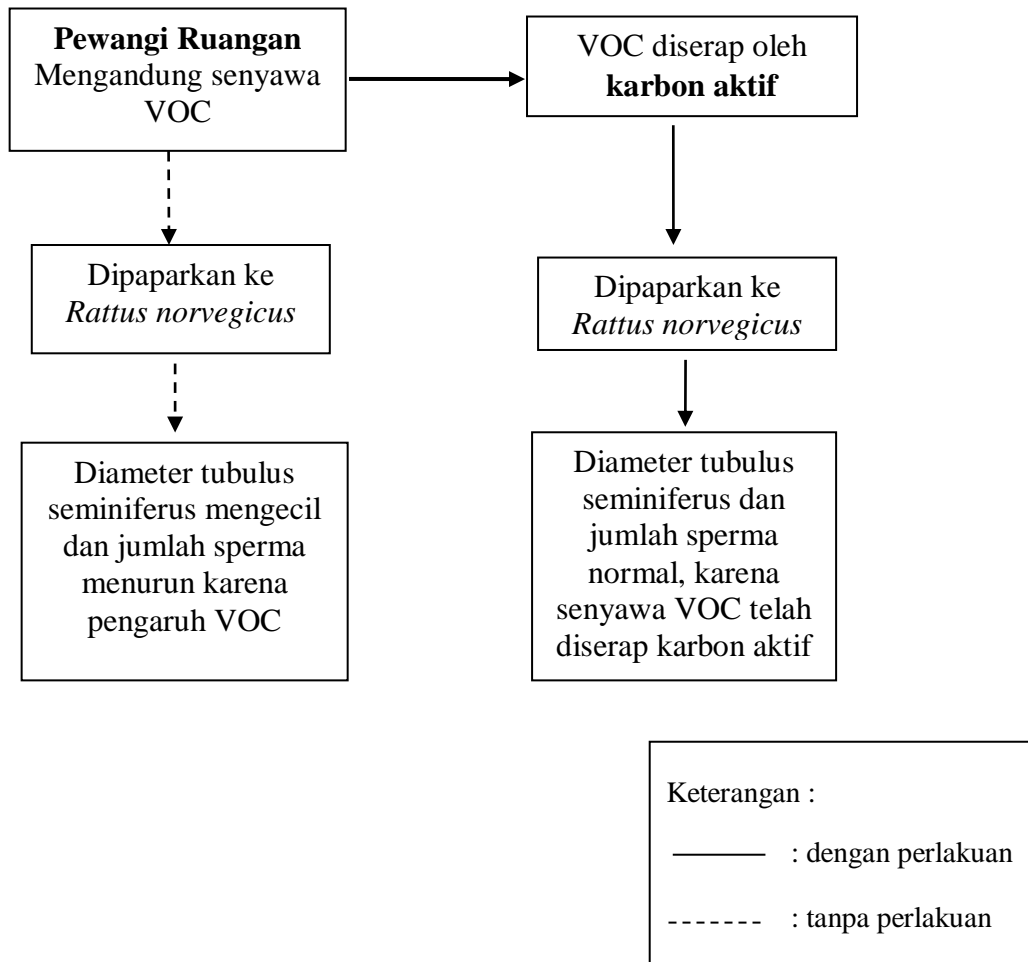


## E. KERANGKA TEORI



**Gambar 2.7** Bagan kerangka teori penelitian

## F. KERANGKA KONSEP



**Gambar 2.8** Bagan kerangka konsep penelitian

## G. HIPOTESIS

Hipotesis penelitian ini adalah penggunaan karbon aktif berpengaruh positif terhadap diameter tubulus seminiferus dan jumlah sperma *Rattus norvegicus* yang diinduksi oleh pewangi ruangan.