

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Tinjauan Pustaka**

#### **2.1.1 Gelombang Elektromagnetik**

Gelombang elektromagnetik adalah gelombang yang dapat merambat walaupun tidak memiliki medium atau dapat merambat melalui ruang hampa. Gelombang elektromagnetik terdiri atas medan listrik dan medan magnetik. Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang transversal yang terjadi karena adanya usikan medan listrik dan medan magnetik yang bergetar dalam arah yang saling tegak lurus dengan arah rambat gelombangnya. Sifat lain dari gelombang elektromagnetik adalah dapat mengalami refleksi, refraksi, interferensi, difraksi, dan tidak dibelokkan dalam medan listrik maupun medan magnet (Harefa, 2012; Mahardika, 2009; Utomo, 2012).

Berdasarkan kemampuannya dalam membentuk ion, radiasi gelombang elektromagnetik dibagi menjadi dua tipe, yaitu radiasi ion dan radiasi non-ion. Radiasi ion merupakan radiasi yang memiliki cukup energi untuk mengionisasi sebuah atom. Partikel alfa, partikel beta, sinar gamma, radiasi *X-ray*, dan neutron termasuk contoh radiasi ion.

Sedangkan radiasi non-ion adalah radiasi yang tidak memiliki kemampuan untuk mengionisasi molekul. Termasuk diantaranya adalah sebagian sinar ultraviolet, sinar tampak, sinar infra merah, gelombang mikro, gelombang radio, dan medan elektromagnetik berfrekuensi ekstrem rendah (Kwan-Hoong, 2003).

Klasifikasi spektrum gelombang elektromagnetik menurut Tarigan (2011) dapat dibedakan berdasarkan frekuensinya menjadi:

1. *Static Electro Magnetic Field* (EMF 0 Hz)

Berasal dari medan elektromagnet alam, MRI, dan elektrolisis industrial.

2. *Extremely Low Frequency* (ELF) EMF (0-300Hz)

Berasal dari aliran listrik ketika dihantarkan melalui kabel listrik dan alat elektronik. Gelombang ini ketika dihasilkan oleh alat elektronik memiliki frekuensi sekitar 50-60 Hz.

3. *Intermediate Frequency* EMF (300 Hz-100 kHz)

Berasal dari alat elektronik seperti *metal detector* dan *hands-free*.

4. *Radio Frequency* EMF (100 kHz-300 GHz)

Berasal dari gelombang TV, radio, *handphone*, dan *microwave oven*.

*Specific Absorption Rate* (SAR) adalah satuan ukuran yang digunakan untuk menyatakan banyaknya gelombang elektromagnetik yang diserap tubuh dan dinyatakan dalam watt per kilogram (W/kg) atau miliwatt per sentimeter kuadrat ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ ). *International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP) menyatakan bahwa nilai maksimal SAR

adalah 2 W/kg, sedangkan menurut *Federal Communication Commission* (FCC) nilai maksimal untuk SAR adalah 1,6 W/kg. Kedua nilai ini digunakan pada daerah yang berbeda. Negara-negara Eropa dan juga Indonesia menggunakan batasan nilai yang ditetapkan oleh ICNIRP (Swamardika, 2009).

### 2.1.2 *Handphone*

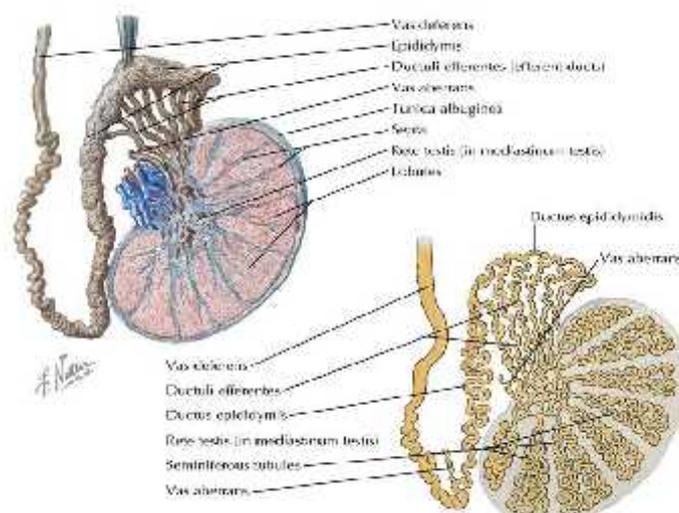
*Handphone* (HP) atau telepon genggam atau disebut pula telepon seluler (ponsel) adalah perangkat telekomunikasi elektronik yang mempunyai kemampuan dasar yang sama dengan telepon konvensional saluran tetap, namun dapat dibawa ke mana-mana (portabel, *mobile*). Kelebihan dari *handphone* antara lain karena alat ini tidak perlu disambungkan dengan jaringan telepon menggunakan kabel (nirkabel; *wireless*). Saat ini, Indonesia mempunyai dua jaringan telepon nirkabel, yaitu sistem GSM (*Global System for Mobile Telecommunications*) dan sistem CDMA (*Code Division Multiple Access*) (Huda, 2008).

*Handphone* memakai gelombang radio yang juga dikenal sebagai *radio frequency (RF)* dalam penggunaannya. Saat menggunakan *handphone* dan melakukan panggilan, suara akan diubah menjadi sebuah kode tertentu ke dalam gelombang radio lalu diteruskan melalui antena *handphone* menuju ke *base station* terdekat. Gelombang radio inilah yang dapat menimbulkan radiasi dan masih banyak kontroversi mengenai keamanannya dalam penggunaan *handphone* (Swamardika, 2009).

## 2.1.3 Testis

### 2.1.3.1 Anatomi Testis

Testis merupakan salah satu organ penyusun sistem reproduksi pria. Testis berbentuk oval yang terdapat di dalam skrotum. Organ ini memiliki panjang sekitar 5 cm dan diameter 2,5 cm dengan berat berkisar 10-15 gram. Testis dilindungi oleh lapisan serosa yang disebut tunika vaginalis. Di dalamnya terdapat tunika albuginea yang membagi testis ke dalam septa-septa. Tiap bagiannya disebut sebagai lobulus. Di tiap dua ratus sampai tiga ratus lobulus, terdapat tubulus seminiferus yang merupakan tempat sel sperma diproduksi dan sel Leydig. Proses pembentukan sperma di dalam tubulus seminiferus disebut dengan proses spermatogenesis (Tortora, 2011). Tubulus seminiferus mengandung pembuluh darah, limfe, dan saraf. Tubulus seminiferus menghasilkan sel kelamin pria, yaitu spermatozoa, sedangkan sel Leydig mensekresikan androgen testis (Junqueira, 2007).



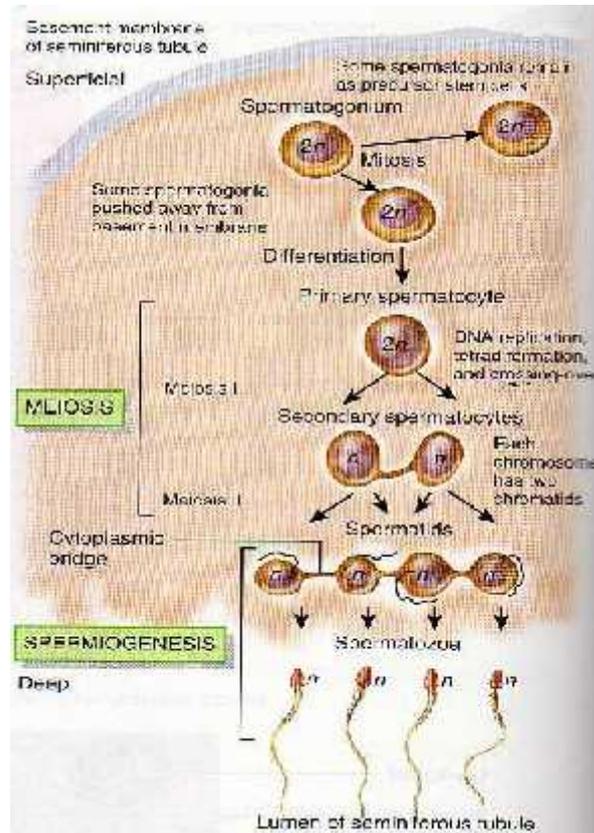
**Gambar 3.** Anatomi testis (Hansen, 2011)

### 2.1.3.2 Spermatogenesis

Spermatogenesis adalah suatu proses kompleks di mana sel germinal yang relatif belum berdiferensiasi dan berproliferasi, diubah menjadi spermatozoa yang terspesialisasi dan motil, yang masing-masingnya mengandung satu set 23 kromosom yang haploid. Proses spermatogenesis memerlukan waktu enam puluh empat hari. Setiap siklus spermatogenesis terdiri atas tiga fase. Fase tersebut meliputi spermatositogenesis, spermatidogenesis, dan spermiogenesis. Spermatositogenesis merupakan pembentukan spermatosit sekunder dari spermatogonium. Spermatogonium yang terletak pada dinding terluar tubulus seminiferus membelah secara mitosis dan menghasilkan satu spermatogonium juga satu spermatogonia. Spermatogonia kemudian membelah secara mitosis dan menghasilkan spermatosit primer.

Spermatosit primer kemudian membelah secara meiosis menghasilkan spermatosit sekunder. Spermatosit sekunder membelah secara meiosis untuk ke dua kali, menghasilkan spermatid. Proses pembelahan ke dua kali ini yang menghasilkan spermatid disebut dengan spermatidogenesis. Kemudian, masuk ke dalam proses pematangan spermatid menjadi spermatozoa matur yang disebut dengan spermiogenesis. Proses pematangan terdiri dari pengemasan DNA dan pembentukan akrosom, pembentukan aksonem, dan pembentukan ekor.

Satu spermatogonia akan menghasilkan empat spermatozoa (Sherwood, 2009).

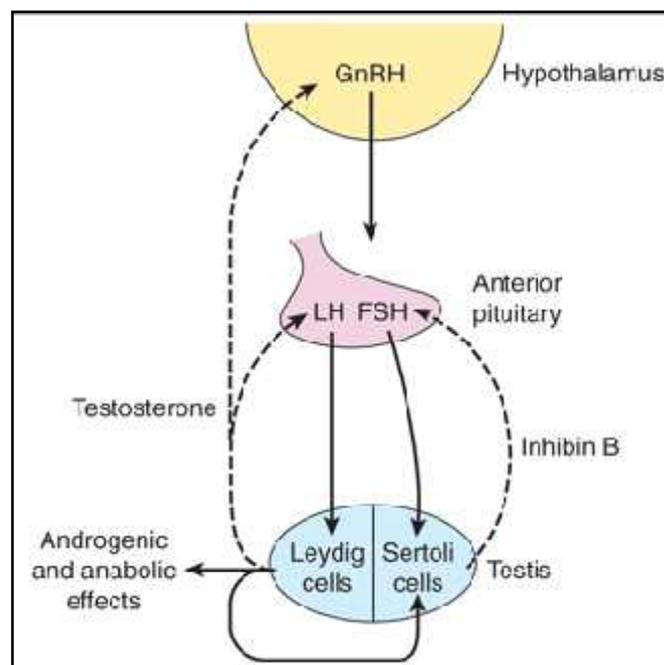


**Gambar 4.** Proses spermatogenesis (Tortora, 2011)

Selama proses spermatogenesis, sel Sertoli berperan sebagai sawar darah testis yang berfungsi mencegah antibodi mencapai sel-sel germinal yang mengalami diferensiasi. Sel Sertoli juga memberi nutrisi untuk spermatosit, spermatid, dan spermatozoa, serta mengontrol pergerakan sel spermatogenik, pelepasan spermatozoa ke lumen tubulus seminiferus, menghasilkan semen dan inhibin, serta mengatur hormon testosteron dan *Follicle Stimulating Hormone* (FSH). Di antara tubulus seminiferus terdapat sel Leydig yang berfungsi untuk menghasilkan

hormon testosteron. Testosteron berperan sebagai hormon yang berperan dalam perkembangan karakteristik seks pria dan meningkatkan libido (Tortora, 2011).

Spermatogenesis terjadi akibat interaksi hipotalamus, hipofisis, dan sel Leydig. Hipotalamus menghasilkan *Gonadotropine Releasing Hormone* (GnRH). Hormon ini menyebabkan hipofisis anterior menghasilkan FSH dan *Luteinizing Hormone* (LH). Fungsi FSH adalah merangsang sel Sertoli untuk menghasilkan protein pengikat-androgen yang akan berikatan dengan testosteron untuk menjaga konsentrasi hormon testosteron dan mengangkutnya ke dalam lumen tubulus seminiferus (Junqueira, 2007).



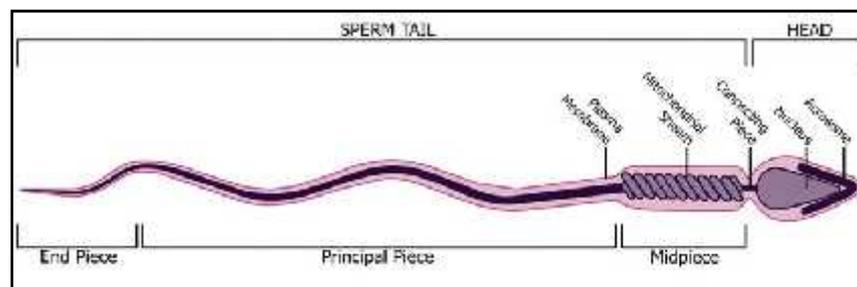
**Gambar 5.** Regulasi hormon sistem reproduksi pria (Barret, 2010)

Sementara LH mengakibatkan sel Leydig menghasilkan testosteron, keduanya memberikan stimulus positif terhadap proses spermatogenesis. Stimulus negatif untuk proses spermatogenesis diperankan oleh inhibin dan testosteron. Sel Sertoli menghasilkan inhibin sebagai stimulus negatif bagi hipofisis anterior untuk mengurangi FSH yang dihasilkan. Testosteron selain meningkatkan aktivitas spermatogenesis, juga memberikan stimulus negatif dengan menurunkan produksi LH oleh hipofisis anterior dan mengurangi produksi GnRH dari hipotalamus (Sherwood, 2009).

### 2.1.3.3 Struktur Sperma

Setiap hari, hampir tiga ratus juta sel sperma dihasilkan dari proses spermatogenesis. Sel sperma memiliki panjang kira-kira 60  $\mu\text{m}$  dan mempunyai struktur yang berfungsi untuk mempermudah pencapaian dan penetrasi oosit sekunder. Bagian yang paling penting dari sel sperma adalah kepala dan ekor. Kepala sel sperma memiliki bentuk lancip dan mempunyai panjang kira-kira 4-5  $\mu\text{m}$ . Pada bagian ini terdapat nukleus yang mengandung 23 kromosom. Pada bagian dua per tiga anterior nukleus, terdapat akrosom yang mengandung enzim hialuronidase dan protease yang dapat mencerna filamen proteoglikan dari jaringan dan dapat mencerna protein sehingga dapat digunakan untuk membantu sperma dalam menembus ovum. Ekor sel sperma dibagi menjadi 4 bagian, yaitu leher, *middle piece*, *principal piece*, dan *end piece*. Leher sel sperma terletak di belakang kepala dan

mengandung sentriol. Sentriol membentuk mikrotubul sebagai bagian dari ekor. *Middle piece* mengandung mitokondria yang mengandung energi *Adenosine Triphosphate* (ATP) untuk membantu sperma dalam metabolisme dan fertilisasi. *Principal piece* merupakan bagian terpanjang dari ekor sperma dan *end piece* merupakan bagian akhir ekor sperma (Tortora, 2011).



**Gambar 6.** Struktur sel sperma (Hill, 2013)

Gerakan ekor mendekat dan menjauh memberikan motilitas pada spermatozoa. Gerakan ini disebabkan oleh gerakan meluncur longitudinal secara ritmis di antara tubulus posterior dan anterior yang membentuk aksonema. Energi untuk proses ini disuplai dalam bentuk adenosin trifosfat yang disintesis oleh mitokondria pada badan ekor. Spermatozoa normal bergerak dalam garis lurus dengan kecepatan 1 sampai 4 mm/menit. Lebih jauh lagi, spermatozoa yang normal cenderung untuk bergerak lurus, daripada dalam gerakan berputar-putar (Guyton, 2008).

## **2.1.4 Pengaruh Gelombang Elektromagnetik secara Biologis**

### **2.1.4.1 Pengaruh Gelombang Elektromagnetik terhadap Tubuh**

*Handphone* menghasilkan gelombang elektromagnetik radio di dalam penggunaannya. Gelombang radio inilah yang menimbulkan radiasi dan banyak kontroversi dari berbagai kalangan tentang keamanan dalam menggunakan *handphone*. Secara garis besar, radiasi total yang diserap oleh tubuh manusia tergantung pada polarisasi medan elektromagnetik, frekuensi, panjang gelombang elektromagnetik, jarak badan dengan sumber radiasi elektromagnetik dalam hal ini *handphone*, adanya benda lain di sekitar sumber radiasi, dan sifat-sifat elektrik tubuh (Swamardika, 2009).

Menurut *The National Radiological Protection Board* (NRPB) UK, Inggris, efek yang ditimbulkan oleh radiasi gelombang elektromagnetik dari *handphone* dibagi menjadi dua, yaitu:

#### 1. Efek fisiologis

Efek fisiologis adalah efek yang ditimbulkan oleh radiasi gelombang elektromagnetik terhadap berbagai sistem tubuh manusia. Efek tersebut berupa kanker otak, tumor, gangguan pendengaran, gangguan retina dan lensa mata, gangguan reproduksi, dan gangguan pada sistem saraf.

## 2. Efek psikologis

Merupakan efek gelombang elektromagnetik terhadap kondisi kejiwaan manusia. Pengaruh ini misalnya adalah timbulnya stres akibat paparan berulang (Swamardika, 2009).

Crumpton (2005) mengatakan bahwa mekanisme yang paling mungkin pengaruh elektromagnetik terhadap kesehatan adalah adanya perubahan keseimbangan kadar radikal bebas dalam sistem biologik. Radikal bebas adalah kemungkinan yang paling besar karena radikal bebas sangat reaktif dan mutagenik dalam sel hidup.

### **2.1.4.2 Pengaruh Gelombang Elektromagnetik terhadap Sistem Reproduksi dan Fertilitas Pria**

Paparan gelombang elektromagnetik *handphone* dapat menyebabkan peningkatan produksi *Reactive Oxygen Species* (ROS), seperti *Malondialdehyde* (MDA) dan penurunan aktivitas antioksidan, seperti katalase, *Superoxide Dismutase* (SOD), dan *Gluthatione Peroxidase* (GSH) (Desai, 2009; Al-Damegh, 2012).

Ketidakeimbangan antara ROS dan antioksidan protektif dapat menyebabkan stres oksidatif. ROS dalam jumlah besar dapat menyebabkan respon patologis yang berakhir dengan kerusakan sel dan jaringan. Spermatozoa sangat mudah untuk mendapat efek kerusakan

yang ditimbulkan oleh ROS. Stres oksidatif dapat meningkatkan peroksidasi lipid asam lemak tak jenuh pada membran spermatozoa. ROS juga menyebabkan degenerasi tubulus seminiferus. Peroksidasi dapat merusak integritas membran dengan meningkatkan permeabilitas membran. Salah satu teori dalam Hamada (2011), menyatakan bahwa permeabilitas membran yang meningkat dapat menyebabkan penurunan motilitas spermatozoa serta disfungsi sel Leydig dan sel Sertoli. Selain itu, hal ini juga dapat mengakibatkan inaktivasi enzim, kerusakan struktur DNA, dan menyebabkan kematian sel sehingga pada akhirnya dapat menyebabkan penurunan kualitas spermatozoa (Jedrzejowska, 2012).