

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Gelombang Elektromagnetik pada Morfologi Tubuh Fetus Mencit

Spektrum gelombang elektromagnetik merupakan susunan semua bentuk gelombang elektromagnetik berdasarkan panjang gelombang dan frekuensinya. Frekuensi terendah atau panjang gelombang terbesar adalah gelombang radio dan frekuensi tertinggi atau gelombang terkecil adalah sinar gamma (Lala, 2009).

Penggunaan langsung maupun tidak langsung peralatan yang berbasis elektromagnetik seperti peralatan telekomunikasi dan elektronik lain akan menyerap energi dari gelombang elektromagnetik yang bersumber dari alat tersebut. Setiap orang akan tersinari atau terekspos oleh berbagai frekuensi gelombang elektromagnetik/*electric and magnetic fields* (EMF) yang kompleks. Dengan demikian, EMF sudah mempengaruhi kondisi lingkungan. Tingkat paparan gelombang EMF dari berbagai frekuensi berubah secara signifikan seiring dengan berkembangnya teknologi serta penemuan peralatan EMF (Fathony, 2011).

Medan dan arus listrik pada frekuensi rendah apabila berinteraksi dengan jaringan biologik dapat mengakibatkan efek fisiologik maupun psikologik.

Efek yang sering diamati adalah paparan EMF dan radio frekuensi (RF) pada sistem syaraf serta otak. Kemungkinan perubahan ditemukan pada respons (tanggapan) untuk beberapa sukarelawan setelah paparan EMF di bawah kabel listrik bertegangan tinggi. Hal ini juga didukung oleh data informasi efek EMF pada otak yang mengalami medan dari arus listrik. Perubahan-perubahan kecil dapat juga ditelaah pada perilaku mencit yang mengalami perlakuan dengan medan magnet 0,75 mT (tingkat yang dijumpai pada daerah kerja) (Fathony, 2011).

Pemajanan medan elektrostatik pada testis tikus jantan dewasa dengan tegangan 6 dan 7 kV selama 1 bulan, memperlihatkan berbagai kelainan kongenital pada turunannya, seperti kerdil, mata putih, dan lain sebagainya (Soeradi and Tadjudin, 1986). Pemajanan medan elektrostatik pada mencit terhadap gambaran kromosom dan proliferasi limfosit menunjukkan peningkatan aberasi kromosom dan proliferasi yang bermakna (Sari, 1998). Selanjutnya pemajanan elektromagnet terus menerus pada mencit sampai 4 generasi menimbulkan beberapa kelainan morfologi kongenital dan tumor, yang menyebabkan mencit berumur pendek (Soeradi *et.al.*, 2002).

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Marino, *et al.* (1976) dan Yunardi (2000), paparan gelombang elektromagnetik dapat menyebabkan, penurunan berat badan dan penurunan jumlah telur serta berat testis pada tikus (Yunardi, 2000), meningkatnya laju kematian pada keturunan tikus kenaikan berat badan tikus, peningkatan stres oksidatif pada telur ayam, burung laut, dan eritrosit manusia (Torres, *et al.*, 2007). Hasil penelitian mengenai

pengaruh medan ELF pada kompetensi kekebalan pada binatang tampaknya negatif (Soesanto, 1996).

Menurut Mansyur (1998) secara garis besar radiasi elektromagnetik terbagi menjadi 2 kelompok yaitu:

(1) Radiasi pengion

Radiasi pengion yaitu emisi energi yang bila melalui suatu media dan terjadi proses penyerapan, berkas energi tersebut akan mampu menginduksi terjadinya proses ionisasi dalam media tersebut.

Termasuk dalam kelompok radiasi pengion adalah sinar gamma, sinar-x, dan sebagian sinar ultra violet.

(2) Radiasi non-pengion

Radiasi non-pengion tidak akan mampu menginduksi terjadinya proses ionisasi dalam media karena tidak memiliki cukup energi untuk menyebabkan terjadinya proses ionisasi. Contoh kelompok radiasi non-pengion yaitu sebagian sinar ultra violet, gelombang mikro, sinar infra merah, gelombang radio, sinar terlihat, dan medan elektromagnetik berfrekuensi ekstrim rendah. Radiasi yang dihasilkan oleh peralatan kantor dan rumah tangga pada umumnya termasuk pada kelompok radiasi non-pengion.

Penelitian menggunakan medan listrik statis memberikan pemajanan pada tikus jantan dan terlihat bahwa pada tingkat paparan 6 kV/10cm dan 7kV/10cm selama 1 jam per hari, 30 hari terus menerus, menimbulkan penyusutan berat testis, kerusakan sel tubulus seminiferus, dan terjadinya

kelainan kongenital pada anak seperti mikroftalmia, bulu kasar di sekitar kepala, penyempitan gelang panggul dan kelainan preputium testis, selain itu menghambat proses spermatogenesis mencit (Qadrijati and Puspita, 2007).

Spektrum yang dihasilkan oleh radiasi elektromagnetik sangat luas, dimulai dengan frekuensi ekstrim rendah (*ELF-Electromagnetic*) sampai pada elektromagnetik berfrekuensi sangat tinggi. Perbedaan panjang gelombang, frekuensi, dan energi foton yang dimiliki masing-masing radiasi elektromagnet menyebabkan efek radiasi yang berbeda pula (Mansyur, 1998).

## **B. Lampu Merkuri**

Merkuri merupakan bahan teratogenik dan sifatnya sangat beracun. Efek toksisitas utama merkuri adalah pada susunan saraf pusat dan ginjal.

Akumulasi merkuri akan menimbulkan kerusakan saraf pusat dan ginjal, antara lain hilangnya daya ingat dan tremor (Rorong, 2002).

Lampu uap merkuri merupakan model lampu HID tertua. HID (*High Intensity Discharge*) adalah sebuah tipe lampu elektronik yang cahayanya dihasilkan oleh semacam busur listrik di antara elektroda tungsten yang berada di dalam gelas kaca. Di dalam tabung gelas kaca ini diisi oleh merkuri. Merkuri bertugas untuk membantu permulaan awal busur listrik, setelah busur listrik menyala garam metal tersebut akan memanaskan dan menguap menghasilkan plasma yang secara otomatis akan menaikkan intensitas cahaya yang dihasilkan oleh busur listrik tersebut dan secara bersamaan menurunkan pemakaian daya

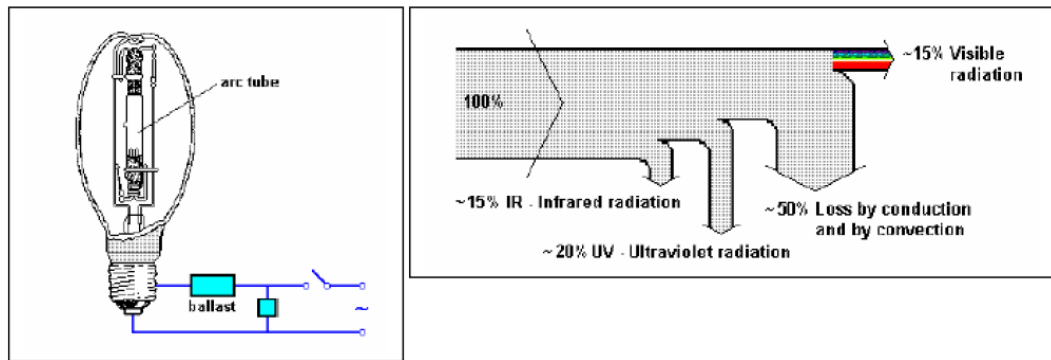
listrik. Pada awalnya merkuri banyak digunakan pada lampu HID komersial. Karakter lampu yang dihasilkan oleh keberadaan merkuri ini adalah cahaya yang biru kehijauan tetapi saat ini produsen lampu HID dapat menghasilkan warna cahaya yang lebih bagus tanpa menghasilkan cahaya khas biru-kehijauan tersebut. Saat ini bohlam lampu HID lebih cenderung menggunakan uap sodium dan metal halide (Hutahuruk, 1996).

Kebanyakan lampu HID menghasilkan radiasi UV yang cukup signifikan dan memerlukan filter UV untuk menghindari penurunan kualitas lampu dan menghindari memudarnya barang-barang berwarna yang disinari oleh lampu HID. Lampu HID yang tidak memiliki filter UV yang mencukupi juga dapat mengakibatkan cedera kepada manusia dan hewan, contohnya kulit terbakar dan buta sesaat. Pada dasarnya, jenis sinar yang dihasilkan oleh lampu merkuri adalah dominan radiasi ultraviolet yang harus diubah menjadi cahaya tampak (*Visible Light*) dengan cara melapisi dinding bagian dalam bohlam dengan serbuk phosphor, sama halnya dengan lampu fluoresen (Hutahuruk, 1996).

Prinsip kerja lampu merkuri sama dengan prinsip kerja lampu tabung fluoresen, di mana cahaya yang dihasilkan berdasarkan terjadinya lucutan elektron (*electron discharge*) di dalam tabung lampu. Konstruksi lampu merkuri berbeda dengan konstruksi lampu fluoresen. Lampu merkuri terdiri dari dua tabung, yaitu tabung dalam yang disebut *arc tube* dan tabung luar yang disebut bohlam (*bulb*). Tabung dalam diisi merkuri yang berguna untuk menghasilkan radiasi ultraviolet dan gas argon yang berfungsi untuk keperluan

*starting*, sedangkan bohlam luar berfungsi sebagai tabung dan menjaga kestabilan suhu di sekitar tabung (Hutahuruk, 1996).

Lampu uap merkuri yang bening menghasilkan cahaya biru-hijau, terdiri dari tabung pemancar uap merkuri dengan elektroda tungsten di kedua ujungnya. Lampu tersebut memiliki efikasi terendah dari kelompok HID. Lampu uap merkuri masih merupakan sumber yang populer untuk penerangan taman karena umur lampunya yang mencapai 24.000 jam dan bayangan taman yang hijaunya terlihat seperti gambaran hidup. Tabung pemancar merupakan pemancar yang tersimpan di bagian dalam bola lampu. Tabung pemancar diisi dengan argon murni dan gas merkuri. Tabung pemancar tertutup di dalam bola lampu yang berada di luarnya yang diisi dengan nitrogen (Gambar 1) (UNEP, 2005).



Gambar 1. Lampu merkuri dan diagram alir energinya (UNEP, 2005).

Ultraviolet merupakan suatu bagian dari spektrum elektromagnetik dan tidak membutuhkan medium untuk merambat. Sinar ultraviolet mempunyai rentang panjang gelombang yang berada di antara spektrum sinar X dan cahaya tampak yaitu antara 400 – 100 nm. Sumber ultraviolet dapat diperoleh secara alamiah maupun buatan, dan sinar matahari merupakan sumber utama ultraviolet di

alam. Sumber ultraviolet buatan umumnya berasal dari lampu *fluorescent* khusus, yaitu lampu merkuri tekanan sedang dan lampu merkuri tekanan rendah (USEPA, 1999).

### C. Biologi Mencit (*Mus musculus* L.)

Mencit (*Mus musculus*) merupakan salah satu hewan percobaan di laboratorium, hewan ini (Gambar 2) dapat berkembang biak secara cepat dan dalam jumlah yang cukup banyak. Mencit termasuk hewan pengerat (*Rodentia*) yang mudah dipelihara dalam jumlah banyak, cepat berbiak, variasi genetiknya cukup besar, anatomi serta fisiologinya terkarakteristik dengan baik (Smith *et al.*, 1997).



Gambar 2. Mencit (*Mus musculus* L.) (Naroputra,2011)

Mencit dipilih menjadi subyek eksperimental sebagai bentuk relevansinya pada manusia. Walaupun mencit mempunyai struktur fisik dan anatomi yang jelas berbeda dengan manusia, tetapi mencit adalah hewan mamalia yang mempunyai beberapa ciri fisiologi dan biokimia yang hampir menyerupai manusia terutama dalam aspek metabolisme glukosa melalui perantaraan

hormon insulin. Di samping itu, mempunyai jarak gestasi yang pendek untuk berkembang biak (Syahrin, 2006).

Klasifikasi mencit (*Mus musculus* L.) menurut Arrington (1972), adalah sebagai berikut :

Sub Kingdom : Metazoa  
Filum : Chordata  
Sub Pilum : Vertebrata  
Sub Kelas : Tetrapoda  
Kelas : Mamalia  
Ordo : Rodentia  
Famili : Muridae  
Genus : Mus  
Spesies : *Mus musculus* L.

Mencit adalah salah satu hewan darat berkaki empat yang diciptakan oleh Allah dan memiliki banyak manfaat, salah satunya adalah sebagai hewan coba pada penelitian. Mencit termasuk dalam genus Mus, famili muridae, ordo rodentia. *Mus musculus* merupakan jenis mencit yang paling banyak dipakai untuk penelitian biomedis. Berbeda dengan hewan-hewan lainnya, mencit tidak memiliki kelenjar keringat. Pada umur empat minggu berat badannya mencapai 18-20 gram. Mencit memiliki jantung empat ruang dengan dinding atrium yang tipis dan dinding ventrikel yang lebih tebal. Hewan ini memiliki karakter lebih aktif pada malam hari daripada siang hari. Dibandingkan spesies-spesies hewan lainnya, mencit paling banyak digunakan untuk tujuan



penelitian medis (60-80%) karena murah serta mudah berkembang biak (Kusumawati, 2004).

Adapun data biologis mencit di laboratorium dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data biologis mencit di laboratorium

Kriteria	Jumlah
Berat badan (jantan)	20-40 gram
Lama hidup	1-3 tahun
Temperature tubuh	36,5 °C
Kebutuhan minum	ad libitum
Kebutuhan makan	4-5 g/hari
Pubertas	28-49 hari
Glukosa	62,8-176 mg/dl
Kolesterol	26,0-82,4 mg/dl
SGOT	23,2-48,4 IU/l
SGPT	2,10-23,8 IU/l

Sumber: Kusumawati (2004)

#### D. Perkembangan Fetus Mencit

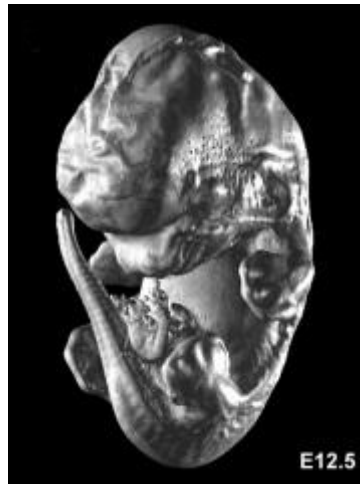
Fertilisasi terjadi jika ada pertemuan dan persenyawaan antara sel telur (ovum) dan sel mani (spermatozoon). Pada mamalia, fertilisasi terjadi di dalam tubuh hewan betina. Setelah ovum dibuahi kemudian mengalami meiosis II, lalu terjadi transformasi, embriogenesis dan organogenesis (Wijiastuti, 1994). Pembelahan sel yang pertama pada mencit terjadi 24 jam setelah pembuahan. Di dalam oviduk terjadi pembelahan secara cepat dan berulang (Situmorang, 2006). Morula merupakan produk akhir dari pembelahan ini. Pada tahap blastomer jumlah morula mencapai 16-32. Selama morulasi zona pelusida tetap utuh (Sukra, 2000).

Pada fase blastula pembelahan sel (*cleavage*) berlangsung secara terus menerus, akibatnya sel-selnya berbentuk seperti bola karet yang mempunyai rongga di dalamnya. Pada blastulasi, blastomer morula makin kecil namun besar blastula tidak berbeda dengan besar morula. Menjelang proses pembelahan berakhir, sebagian blastomer yang ada di bawah permukaan morula rontok, sehingga tempat yang semula padat dengan sejumlah blastomer menjadi rongga kosong. Rongga yang terbentuk tersebut disebut blastocoel atau rongga segmentasi (Sukra, 2000).

Pembelahan hanya terjadi pada sel-sel kutub animal, sedangkan kutub vegetatif terdesak ke dalam dan terjadilah invaginasi. Blastocoel mengecil dengan terbentuknya invaginasi. Blastocoel dengan invaginasi (lekuk ke dalam) disebut gastrocoel (arkenteron). Lubang lekukan tersebut disebut blastopor, dan terdiri dari dua lapisan sel, bagian dalam disebut endoterm dan bagian luar disebut ektoderm. Sel-sel antara ektoderm dan endoterm berproliferasi dan mengisi ruang segmentasi. Sel-sel tersebut membentuk lapisan ketiga yang disebut mesoderm. Sel-sel lapisan mesoderm berpisah menjadi dua lapisan sel yaitu lapisan luar yang disebut sel somatik dan lapisan dalam yang disebut sel-sel splanknik. Selom atau ruang tubuh yang sebenarnya terbentuk karena terjadinya dua lapisan sel (Brotowidjojo, 1994).

Akhir tahap perkembangan adalah proses pembentukan organ dari lapisan ektoderm, mesoderm, dan endoderm. Proses pembentukan organ-organ ini disebut organogenesis (Panjaitan, 2003).

Tahap organogenesis merupakan tahap dimana sel secara intensif mengalami diferensiasi dan mobilisasi, akibatnya embrio sangat rentan terhadap efek teratogen. Periode ini biasanya berakhir pada hari ke 10-14 kehamilan pada hewan pengerat (Panjaitan, 2003). Lu (1995) menyatakan bahwa sebagian besar embrio mencit mulai rentan pada hari ke 8 dan berakhir pada hari ke 12 kehamilan (Gambar 3).



Gambar 3. Fetus mencit umur kehamilan ke-12 hari (Johnson *et.al*, 2006)

Menurut Lu (1995), 3 tahap perkembangan embrio yang sangat terpengaruh oleh efek pemberian zat teratogen, yaitu:

**a. Tahap Pradiferensiasi**

Selama tahap ini, embrio tidak rentan terhadap zat teratogen. Zat ini dapat menyebabkan kematian embrio akibat matinya sebagian besar sel embrio, atau tidak menimbulkan efek yang nyata. Sel yang masih hidup akan menggantikan kerusakan dan membentuk embrio normal apabila terjadi efek yang berbahaya. Lamanya tahap resisten ini berkisar antara 5 – 9 hari, tergantung dari jenis spesiesnya

**b. Tahap Embrio**

Pada periode ini sel secara intensif melakukan diferensiasi, mobilisasi, dan organisasi. Selama periode ini sebagian besar organogenesis terjadi. Akibatnya, embrio sangat rentan terhadap efek teratogen. Pada hewan pengerat periode ini berakhir setelah beberapa waktu, yaitu pada hari ke-10 sampai hari ke-14 dan pada manusia berakhir pada minggu ke-14. Dalam suatu kehamilan, tidak semua organ rentan pada saat yang sama.

**c. Tahap Fetus**

Tahap ini ditandai dengan perkembangan dan pematangan fungsi. Dengan demikian, selama tahapan ini teratogen dapat mengakibatkan kelainan fungsi tetapi tidak mungkin menyebabkan cacat morfologik. Cacat morfologik dapat dideteksi pada saat kelahiran atau sesaat sesudah kelahiran, tetapi kelainan fungsi seperti gangguan sistem saraf pusat tidak dapat didiagnosis segera setelah kelahiran.