

## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Medan Elektromagnet

#### 2.1.1 Definisi dan Klarifikasi

Medan elektromagnet adalah medan yang terjadi akibat pergerakan arus listrik. Arus listrik statis hanya akan menghasilkan medan listrik. Apabila arus listrik tersebut bergerak akan dihasilkan pula medan magnet. Medan listrik juga dapat terbentuk akibat perubahan medan magnet. Medan magnet yang bergerak dapat menginduksi arus listrik bolak-balik (AC) dan sebaliknya arus listrik ini juga dapat menghasilkan medan magnet.<sup>12-16</sup> Interaksi antara medan listrik dan medan magnet tersebut menghasilkan medan elektromagnet. Jadi, medan elektromagnet dihasilkan oleh medan magnet dan medan listrik.<sup>12</sup>

Medan elektromagnet dapat dibedakan berdasarkan frekuensinya, yaitu:<sup>13</sup>

1. Medan elektromagnet statik (0 Hz). Sumbernya antara lain medan elektromagnet alam, MRI, elektrolisis industrial.
2. Medan elektromagnet *extremely low-frequency* (ELF) (0-300 Hz). Gelombang elektromagnetik ini dihasilkan terutama oleh alat listrik yang digunakan dalam keseharian.<sup>2</sup> Frekuensi gelombang ini ketika dihasilkan oleh alat elektronik adalah sekitar 50-60 Hz.<sup>2,6,12,13</sup>
3. Medan elektromagnet *intermediate frequency* (300 Hz – 100kHz). Sumbernya antara lain detektor metal, *hands free*, layar komputer, alat anti maling, dan alat sistem keamanan.<sup>2,13</sup>
4. Medan elektromagnet *radio frequency* (100 kHz – 300 GHz). Sumbernya antara lain gelombang TV, radio, *microwave*, antena telepon selular, dan radar.<sup>2,13</sup>

Berdasarkan energi yang dimiliki, gelombang elektromagnetik dapat dibedakan menjadi radiasi pengion dan non-pengion. Dikatakan radiasi pengion apabila energi yang dimiliki per kuantumnya mampu memecah ikatan antar molekul. Sebaliknya radiasi non-pengion, tidak mampu memecah ikatan antar molekul.<sup>2</sup>

Medan elektromagnet terdapat di lingkungan sekitar baik alamiah ataupun buatan manusia. Medan elektromagnet yang dibuat oleh manusia secara umum

memiliki intensitas yang lebih tinggi dibanding yang murni berasal dari alam. Kekuatan medan elektromagnet akan semakin berkurang dengan semakin jauh jarak medan dari sumbernya.<sup>6,12</sup>

### 2.1.2 Karakteristik Medan Listrik dan Medan Magnet

Tabel 2.2 Karakteristik Medan Listrik dan Medan Magnet

Medan Listrik	Medan Magnet
1. Medan listrik berasal dari tegangan listrik. Medan listrik tetap dapat dihasilkan walau tidak ada arus listrik mengalir. Sehingga medan listrik tetap ada walau alat listrik dalam keadaan mati.	1. Medan magnet berasal dari arus listrik.
2. Kekuatan medan listrik diukur berdasarkan satuan volt per meter.	2. Kekuatannya diukur berdasarkan satuan ampere per meter. Namun umumnya, juga dipakai satuan densitas <i>flux</i> yaitu mikrottesla ( $\mu\text{T}$ ) atau militesla (mT).
3. Kekuatan medan listrik semakin lemah bila semakin jauh dari sumbernya.	3. Medan magnet terjadi segera setelah suatu alat listrik dinyalakan
4. Kebanyakan material bangunan dapat menahan medan listrik dalam kekuatan tertentu.	4. Kekuatan medan magnet semakin lemah bila semakin jauh dari sumbernya.
	5. Kebanyakan material tidak memperlemah medan magnet.

(Dimodifikasi dari sumber: Anonymous. World Health Organization. Summary of health effects: what happens when you are exposed to electromagnetic fields? [Online] [Cited: Maret 15, 2009.] <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/en/index1.html>.)

## 2.2 Sistem Reproduksi Mencit Betina Dewasa

Mencit (*Mus sp.*) adalah hewan mamalia yang banyak digunakan sebagai hewan percobaan, baik secara *in vivo* maupun *in vitro*. Hewan ini mencapai kedewasaan antara umur 6-8 minggu tergantung *strain* yang digunakan. Selanjutnya mencit akan mengalami estrus untuk pertama kalinya umur 30-45

hari, panjang siklus estrus berkisar antara 4-5 hari dan pada umumnya dibagi menjadi 4 fase, yaitu *proestrus*, *estrus*, *metestrus*, dan *diestrus*.<sup>17</sup>

Kondisi yang baik untuk dikawinkan adalah setelah mencit mencapai dewasa, masing-masing mencit jantan dan betina disatukan dalam satu kandang. Periode gestasi berkisar antara 18-21 hari dan masa subur yang cukup panjang yaitu pada umur 2-14 bulan. Selama masa subur dapat dihasilkan lebih dari 10 kali kelahiran dan lebih dari 100 jumlah anak. Jumlah anak yang dilahirkan rata-rata 10-11 ekor. Faktor-faktor yang mempengaruhi jumlah anak yang dihasilkannya di antaranya adalah *strain* mencit, apakah kehamilan yang pertama atau bukan, umur dan kondisi induk. Jumlah anak mencit pada kehamilan pertama umumnya paling sedikit, kehamilan ke-5 sampai ke-7 paling banyak.<sup>17</sup>

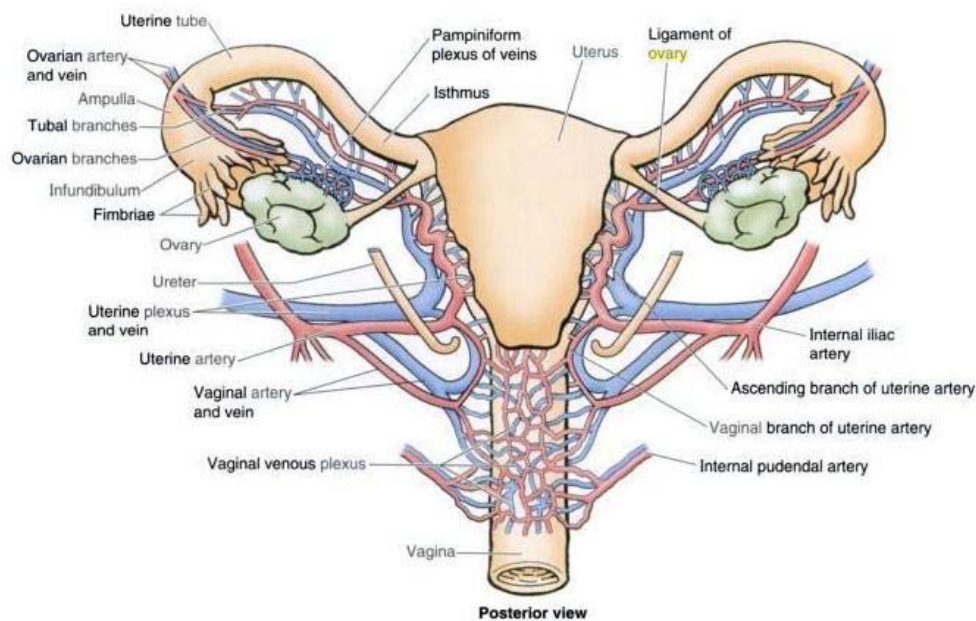
Sistem reproduksi mencit betina terdiri dari sepasang ovarium dan oviduk, sebuah uterus *bicornuate*, sebuah cervix, vagina, kelenjar klitoral, dan klitoris.<sup>18</sup>

### 2.2.1 Ovarium

Ovarium adalah suatu struktur yang kecil, merah muda, dengan permukaan yang diliputi oleh membran jaringan penyambung yang tipis dan transparan, tunika albuginea atau kapsul ovarium. Keseluruhannya diliputi oleh mesotelium.<sup>17</sup> Ovarium digantungkan oleh ligamen-ligamen pada dinding dorsal tubuh, berada lateral dan kaudal dari ginjal. Ligamen-ligamen tersebut terdiri dari serat otot polos yang terbentang sampai ke pelindung ovarium. Ligamen lainnya menghubungkan tiap ovarium pada ujung anterior tanduk uterin. Ligamen-ligamen ini terdiri dari otot polos, yang memenuhi tanduk uterin dan infundibulum oviduk.<sup>18</sup> Gambar struktur anatomi sistem reproduksi mencit betina dapat dilihat pada gambar 2.1.

Ovarium mencit yang matang mempunyai bagian medulla di sebelah dalam (zona vaskulosa dan stroma) dan yang lebih perifer, korteks, dimana di dalamnya folikel yang berkembang dapat terlihat (folikel primer, folikel sekunder, folikel tersier dan folikel de Graaf). Perbedaan ini berdasarkan atas keadaan lapisan sel-sel granulosa yang mengelilingi oosit. Folikel primer ditandai dengan adanya selapis sel-sel granulosa, folikel sekunder ditandai dengan adanya dua lapis atau lebih sel-sel granulosa. Sedangkan folikel tersier dan folikel de Graaf

ditandai dengan adanya ruang folikel yang berisi cairan. Folikel de Graaf dibedakan dari folikel tersier karena ruang folikelnya sudah membesar dan ovum mulai menepi.<sup>17</sup> Gambar struktur ovarium dan folikel-folikel di dalamnya dapat dilihat pada gambar 2.2.



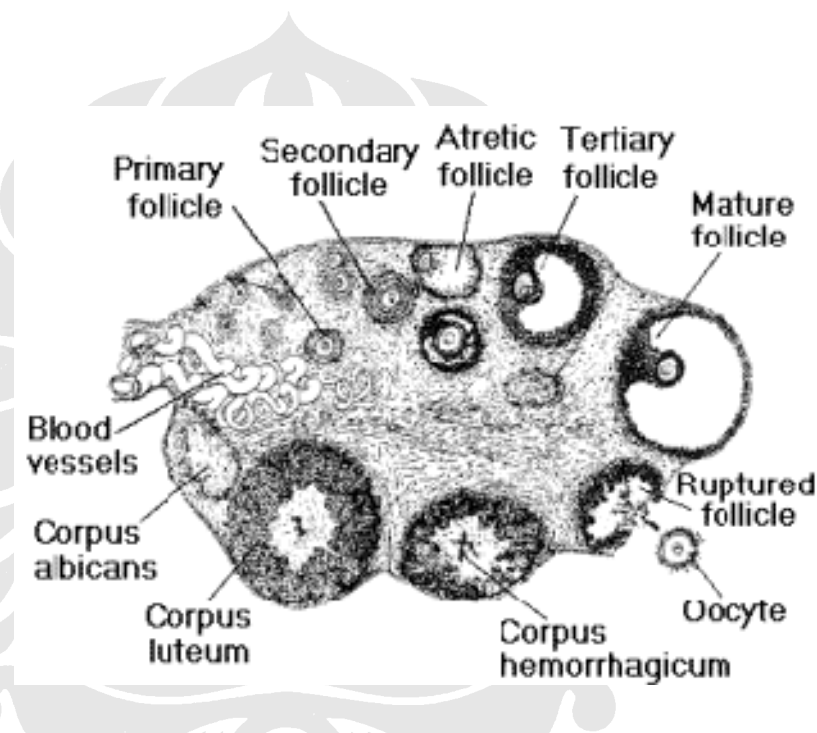
Gambar 2.1 Anatomi Sistem Reproduksi Wanita

(Sumber: Anonymous. The anatomy, histology, and development of the uterine tube and uterus. DOTE Anatomy topics, 2008 [cited 2009]. Available from: <http://anatomytopics.files.wordpress.com/2008/12/blood-supply-uterus-vagina-ovary-uterine-tube.jpg>)

Folikel primer kecil ditemukan dibawah tunika, yang terdiri dari oosit dan sel-sel folikel di sekelilingnya, dimana terlihat pada awalnya sebagai skuamosa. Nukleus dari oosit vesikuler, dengan granula kromatin dan nukleolus yang jelas. Seiring dengan folikel yang membesar, sel-sel folikel di sekitarnya menjadi kuboid, kemudian membentuk lapisan, dan akhirnya terpisah dari oosit oleh sekresi sel folikel nonseluler dan jelas yang dikenal dengan zona pelusida. Hal ini berperan penting dalam proses fertilisasi. Di sekitar setiap folikel yang membesar terdapat serat jaringan penyambung pada stroma, dimana bersama-sama

membentuk teka folikuli. Seiring semakin membesarnya folikel, tampak perbedaan antara teka interna yang mempunyai suplai darah yang banyak dan tersusun longgar, serta bagian luar yang lebih padat yaitu teka eksterna, berupa serat yang tersusun konsentris (terpusat).<sup>18</sup>

Stroma terdiri dari jaringan penyambung fibrosa yang padat. Pembuluh darah berpenetrasi ke seluruh ovarium, masuk dan keluar melalui hilus. Diluar korteks adalah lapisan tunggal epitel kuboid yang dikenal sebagai epitel germinal, dan diluar lapisan ini adalah tunika.<sup>18</sup>



Gambar 2.2 Perkembangan Folikel Ovarium

(Sumber: Fricke PM. Managing reproductive disorders in dairy cows. NDSU, 2000. Available from: <http://www.ag.ndsu.nodak.edu/.../image002.gif>)

Folikel akan terus membesar, selama masih terjangkau oleh elemen makanan penting yang berasal dari darah (seperti vitamin dan hormon steroid) tetapi tidak terjangkau oleh kebanyakan enzim, antigen, antibodi, dan hormon protein. Lakuna yang kecil dan iregular muncul diantara sel, dan bergabung membentuk antrum, yang kemudian diisi oleh cairan folikular, atau *liquor folliculi*. Lapisan antrum tersusun dari sel folikel bertingkat yang terdiri dari banyak granul,

karena itu disebut sebagai sel granulosa. Sel granulosa mengelilingi oosit yang sedang berkembang dan zona pelusida untuk membentuk *cumulus oophorus*.<sup>18</sup>

Seiring dengan membesarnya antrum, folikel yang bersangkutan akan membesar dan bergerak menuju permukaan ovarium kemudian dikeluarkan ke ruang periovarium. Ovum yang sedang berkembang dan sel-sel di sekitarnya disebut folikel de Graaf dengan diameter rata-rata 500 mikron. Sering terlihat ovum matang dan sel cumulusnya mengapung bebas dalam antrum yang membesar, siap untuk ovulasi. Folikel de Graaf dapat terlihat dengan mata telanjang sebagai tonjolan di permukaan ovarium.<sup>18</sup>

### 2.2.2 Oogenesis

Pada hari ke-8 masa gestasi, sel benih primordial betina ditemukan pada *splanchnopleura* kantung kuning telur dan kaya akan alkali fosfatase. Mereka akan bermigasi secara ameboid dan bergelombang sepanjang mesenterium dorsal menuju lipatan mesenterik dan tiba di *genital ridges* pada hari ke-9 sampai hari ke-10 gestasi. Pada hari ke-11 gestasi, ovarium potensial sudah terlihat menunjukkan karakteristik proliferasi korteks. Pada hari ke-13 masa gestasi, profase meiosis ditemukan, yang menggambarkan pembentukan ovum. Tahap leptotene dan zygotene terlihat pada oosit di hari ke-14 dan 15 gestasi dan pembelahan oogonium meningkat saat ini. Beberapa tahap pachytene dapat dilihat dari hari ke-16 dan 17 sampai lahir. Sejumlah besar oosit akan melanjutkan perkembangannya melalui diplotene dan diakinesis.<sup>18</sup>

Pada saat lahir, beberapa ova primordial membentuk sel-sel folikel, memulai proses maturasi. Total oosit pada saat ini diestimasi sekitar di atas 75.000, jauh dari jumlah telur yang matang. Banyak dari ova tersebut yang berdegenerasi segera dan yang lain berdegenerasi pada tahap berikutnya atau membentuk sel folikel. Oosit primer dapat dibedakan dari sel lainnya dalam korteks ovarium karena ukurannya yang besar, dengan nukleus sferis yang besar dan partikel kuning telur di sitoplasmanya. Pada mencit betina, sel benih melewati seluruh fase pembelahan oogonium dan mencapai bentuk oosit selama masih di embrio. Sekitar 3 hari setelah lahir oosit mencapai bentuk statis yang dikenal

dengan fase dictyate, dan dipertahankan sampai beberapa jam sebelum ovulasi. Hal ini dapat terjadi selama 1 tahun.<sup>18</sup>

Pada hari ke-12 sampai 15 setelah lahir beberapa folikel antral mulai muncul, dan pada hari ke-17 banyak folikel yang hampir mencapai ukuran maksimum. Ovum mencapai ukuran maksimumnya saat pembentukan antrum dimulai. Jumlah folikel atresia meningkat sekitar hari ke-18.5. Saat oogenesis dimulai, akan dilanjutkan dalam siklus regular 4.5 sampai 5 hari melalui masa reproduksi sampai sekitar usia 12-14 bulan. Ovum normal terdiri dari beberapa granula Golgi kecil, lapisan tipis kuning telur, granula Golgi besar, sebuah nukleus dan sejumlah besar mitokondria. Mitokondria ini terkonsentrasi di perifer.<sup>18</sup>

Berdasarkan perkiraan pada masa estrus, 1000 ova atau lebih siap untuk oogenesis namun hanya 1% yang matur, 99% kehilangan potensinya. Dengan masa estrus setiap 4.5 sampai 5 hari, berarti masa reproduktif rata-rata dari usia 2 sampai 12 bulan terdapat 60.000 ova yang siap namun hanya 5000 ova yang matur dan hanya 100 ova yang dapat menghasilkan keturunan.<sup>18</sup> Sebagian besar folikel mengalami apoptosis dan membentuk folikel atresia.

Pembelahan meiosis pertama oosit dalam ovarium matur dimulai 9-10 jam sebelum ovulasi, diduga distimulasi oleh LH (*Luteinizing Hormone*) dari ovulasi sebelumnya. Profase meiosis sering disebut tahap dictyate atau leptotene. Metafase pertama berakhir sekitar 6 jam. Meiosis kedua dimulai dengan segera, tetapi berhenti dan beristirahat pada tahap metafase sampai ovum mengalami fertilisasi.<sup>18</sup>

Ovum matur memiliki granula halus, sitoplasma yang homogen, yang dibatasi oleh membran plasma yang disebut membran vitelina. Nukleoplasma diliputi oleh 2 lapis membran yang memiliki pori. Ovum matur memiliki diameter sekitar 95 mikron dengan volume sekitar 200.000 mikron kubik. Masa paruh fertilisasinya 10-15 jam dan hilangnya potensi fertilisasi terjadi akibat perubahan pada membran vitelina dan granula sitoplasma kortikal.<sup>18</sup>

Ova dilepaskan dari ovarium mencit betina dewasa rata-rata setiap 5 hari. Dalam interval ini, terjadi 2 perubahan yaitu maturasi ovum dan pertumbuhan folikel. Perubahan yang berkorelasi pada mukosa vagina dapat digunakan untuk

estimasi waktu ovulasi. Sebagian besar tahap tetapi tidak semua tahap maturasi ovum dapat diamati pada ovarium matang dan siklus estrus.<sup>18</sup>

Stadium dari oogenesis:<sup>18</sup>

1. Stadium I: Oogonium, hampir tidak dapat dibedakan dari sel kortikal yang lain, dan tidak ada sel folikel. Jumlah DNA konstan.
2. Stadium II: Oosit primer, diliputi oleh lapisan tunggal yang jarang dari sel epitel skuamosa dan mempunyai nukleus yang sedikit besar daripada sel-sel yang berdekatan.
3. Stadium III: Folikel primer, dengan lapisan tunggal sel folikel kuboid yang mengelilingi oosit, dimana nukleusnya membesar.
4. Stadium IV: Lapisan ganda dari sel folikel di sekeliling oosit yang membesar.
5. Stadium V: Banyak lapisan dari sel folikel di sekeliling oosit yang membesar. Di dekat vesikel germinal adalah nukleus kuning telur (*Balbian's body*), dan di dekatnya adalah aparatus golgi.
6. Stadium VI: Daerah antrum yang terpecah di antara sel folikel. Mitokondria membentuk inti konsentrasi kuning telur; diameter folikel kira-kira 200 mikron.
7. Stadium VII: Daerah antrum yang jelas; bentuk badan polar utama terbentuk pada maturasi pertama (pembelahan meiosis), meninggalkan oosit sekunder. Karakteristik badan polar binatang pengerat adalah besar.
8. Stadium VIII: Antrum tunggal yang berfusi, dengan oosit yang tergantung pada *cumulus oophorus* dan badan polar utama pada daerah perivitelina.
9. Stadium IX: Antrum membengkak dengan cairan folikular, dan ovum telah siap keluar dari ovarium, dengan nukleusnya pada saat metafase dari pembelahan meiosis kedua, diameter folikel kira-kira 500 mikron.

Maturasi pertama dari dua maturasi (pembelahan meiosis) ovum terjadi pada stadium VII dan kedua setelah invasi dari spermatozoon.<sup>18</sup>

Tahap berikut berhubungan dengan stadium awal dari stadium VII dari tahap-tahap di atas.



- 1- Leptotene (kadang disebut dictyate)
- 2- Leptotene akhir (atau dictyate)
- 3- Massa kromatin (pachytene, diplotene)
- 4- Diakenesis
- 5- Pre-metafase I
- 6- Metafase meiotik I
- 7- Anafase I dan telofase I, pembentukan awal badan polar
- 8- Pre-metafase II
- 9- Metafase II (waktu ovulasi) dan fertilisasi

### 2.2.3 Ovulasi

Ovulasi adalah pelepasan ovum matur dari folikelnya ke ruang periovarium. Proses ini memakan waktu 30-45 menit. Ovarium sendiri berpulsasi secara kuat dan sering. Cairan dalam antrum yang membesar, *liquor folliculi*, mengental saat folikel ruptur. *Liquor folliculi* ini juga yang menyebabkan *cumulus oophorus* terlepas dari dasarnya dan terapung bebas bersama dengan ovum dalam antrum.<sup>17</sup>

Setiap ovum akan ruptur melalui sel granulosa, tunika albuginea yang meregang dan epitel germinal. Berlawanan dengan area ruptur, teka interna dan sel granulosa akan melipat akibat folikel yang kolaps dan berkurangnya tekanan cairan. Lebih dari 10 ova dapat dilepaskan dari sebuah ovarium dalam waktu singkat, dan dapat beragregasi di daerah infundibulum. Silia di infundibulum dengan segera akan mentransport ova matur ke ampula oviduk, di mana fertilisasi dapat terjadi. Karena cairan folikuli yang lengket, ova menggumpal bersama.<sup>18</sup>

Ovulasi terjadi sekitar 2 sampai 3 jam setelah onset estrus. Secara umum, ovulasi terjadi pada *midpoint* periode gelap, antar pukul 2 sampai 4 pagi di bawah kondisi normal. Oosit sekunder ini akan tertahan pada tahap metafase selama 6 jam kemudian dilanjutkan ke tahap anafase selama 1,2 jam yang akan dilanjutkan ke tahap telofase selama 0,2 jam. Pemisahan badan polar kedua terjadi saat fertilisasi. Tanda pertama yang muncul saat pembelahan akhir adalah kondensasi kromatin, yang dapat dilihat pada jam pertama periode gelap atau ketika ovulasi terjadi.<sup>18</sup>

Rupturnya folikel ovarium tidak berkaitan dengan munculnya perdarahan pada mencit. Hal ini hanya meninggalkan rongga kecil pada dinding folikel. Tetapi hilangnya tekanan akibat cairan folikel yang keluar menyebabkan kapiler darah di area sekitarnya memperbaiki kerusakan dalam 2 jam. Bekas folikel tersebut dikenal sebagai korpus luteum. Sel-sel teka interna diinvasi oleh kapiler untuk membentuk trabekula yang menempati tempat asal antrum. Sel-sel tersebut kemudian diisi oleh substansi kuning lutein. Hal ini mengubah proliferasi sel yang aktif pada teka interna dan sel granulosa seiring dengan perkembangan kapiler.

Sel granulosa kemudian mengalami hipertropi untuk meningkatkan volume korpus luteum. Transformasi dari sel granulosa menjadi sel lutein terjadi secara bertahap. Sel granulosa adalah sel kecil dengan warna nukleus yang gelap dan sitoplasma basofilik, sementara itu sel lutein adalah sel besar dan polihedral, dengan sitoplasma eosinofilik.<sup>18</sup>

Korpus luteum menandakan tempat folikel melepaskan ovumnya. Kehadiran sejumlah massa lutein di ovarium tidak menginhibisi ovulasi selanjutnya, dan mereka dapat dilihat dalam ovarium bersamaan dengan folikel matang. Kehadiran sekresi aktif korpus luteum penting untuk nutrisi *blastocyst*, dan mencegah degenerasi ova. Saat tahap estrus muncul, lemak dan lipoid korpus luteum meningkat dan granul lipid menjadi semakin kasar.

Di lain pihak setelah ovulasi, ditemukan sangat sedikit lipid di korpus luteum. Jika tidak terjadi fertilisasi, korpus luteum akan berdegenerasi dalam 10 sampai 12 hari, meninggalkan jaringan parut fibrosa dan lemak. Jika terjadi fertilisasi, lipid tidak terakumulasi dalam korpus luteum sampai hari ke-8 atau 9 gestasi dan granulnya pun lebih kecil dibanding binatang yang tidak hamil. Pada hari ke-13 gestasi, korpus mencapai ukuran diameter maksimumnya yaitu 1 mm, dan pada hari ke-18 dia mulai mengecil.

Korpus tidak benar-benar menghilang sampai beberapa hari setelah partus. Ditemukan pula korpus luteum laktasi yang dibentuk setelah partus. Secara umum, selnya kecil dengan nukleus kecil dan sitoplasma bebas lemak.<sup>18</sup>

#### 2.2.4 Hormon dalam Reproduksi Mencit Betina

Seperti halnya mamalia lain, sistem reproduksi pada mencit betina berlangsung dengan bantuan hormon. Hormon ini disebut gonadotropin, yang dihasilkan oleh kelenjar hipofisis bagian anterior. Hormon gonadotropin terdiri atas *Folikel Stimulating Hormon* (FSH), *Luteinizing Hormon* (LH) dan prolaktin. Hormon gonadotropin mulai bekerja pada saat hewan mencapai masa pubertas atau terjadi kematangan seksual.<sup>17</sup>

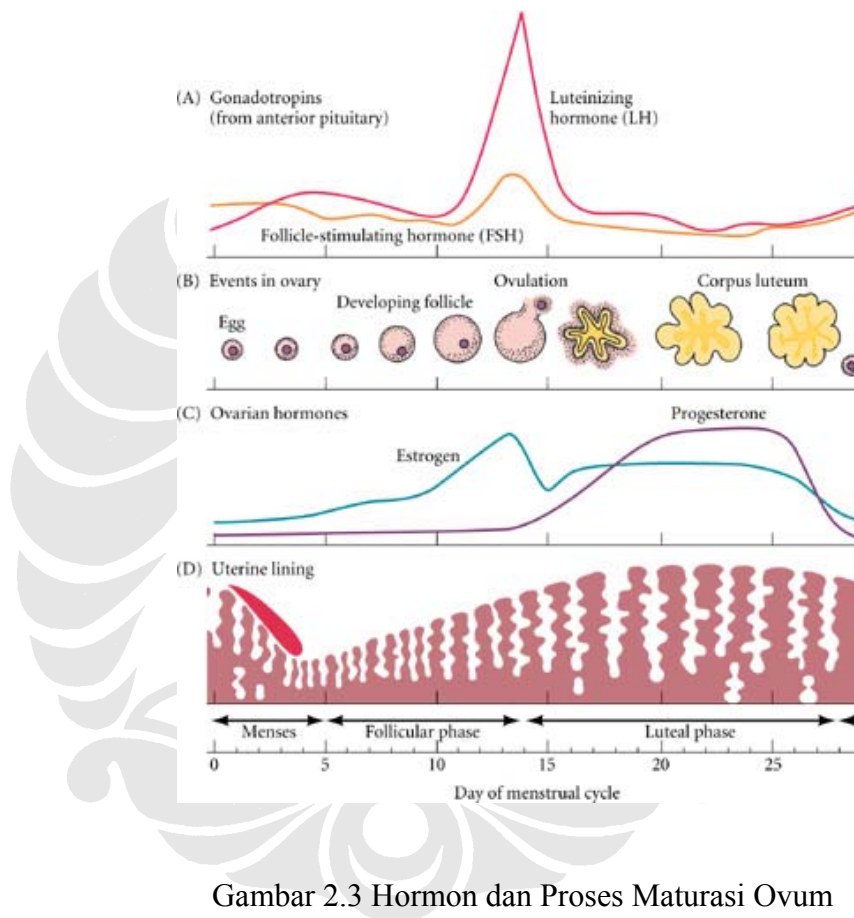
FSH dan LH berfungsi untuk merangsang perkembangan folikel di dalam ovarium sampai terjadi ovulasi. Folikel telur yang terdapat di dalam ovarium tergantung dari hormon gonadotropin. Banyak folikel mengalami proses atresia karena FSH dan LH hanya mampu mematangkan folikel dalam jumlah tertentu.<sup>17</sup> Hal ini terjadi karena estradiol yang dibentuk oleh sel-sel folikel memberikan umpan balik negatif terhadap FSH dan LH. Atresia dapat dicegah hanya jika konsentrasi FSH dan LH cukup memadai di dalam sirkulasi darah serta bersamaan dengan perkembangan reseptor FSH dan LH pada sel-sel granulosa dan sel-sel teka. Dalam hal ini hormon gonadotropin berperan dalam mengubah folikel preantral menjadi folikel antral.<sup>17</sup>

Dari sel-sel folikel dihasilkan hormon estrogen yang berfungsi untuk merangsang pertumbuhan dinding endometrium uterus. Selain itu LH juga berperan dalam perkembangan korpus luteum. Sedangkan prolaktin berfungsi untuk mempertahankan korpus luteum dan merangsang korpus luteum untuk menghasilkan hormon progesteron. Selain itu prolaktin juga bersifat luteolitik pada siklus estrus normal.<sup>17</sup>

Selanjutnya estrogen dan progesteron berfungsi untuk mempertahankan fase sekresi dari endometrium uterus sehingga implantasi dapat berlangsung dan zigot dapat berkembang sampai terbentuk embrio. Fungsi korpus luteum akan berakhir setelah terbentuk plasenta dan plasenta akan berkembang menjadi organ endokrin selama terjadinya kehamilan sampai embrio lahir.<sup>17</sup>

Gangguan pada masa praovulasi dapat menghambat ovulasi. Pengeluaran hormon gonadotropin yang dikontrol secara genetik, menentukan jumlah folikel yang matang dan jumlah sel telur yang diovulasikan. Tetapi jumlah ovulasi yang tinggi belum tentu menghasilkan jumlah anak yang banyak. Keseimbangan

hormon yang dihasilkan juga berpengaruh terhadap jumlah embrio yang berimplantasi dan kelangsungan hidup embrio selanjutnya. Jadi penurunan fertilitas dapat terjadi dengan cara memberikan sesuatu yang dapat mempengaruhi jumlah pengeluaran hormon gonadotropin.<sup>17</sup> Peran hormonal dalam siklus menstrual dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Hormon dan Proses Maturasi Ovum

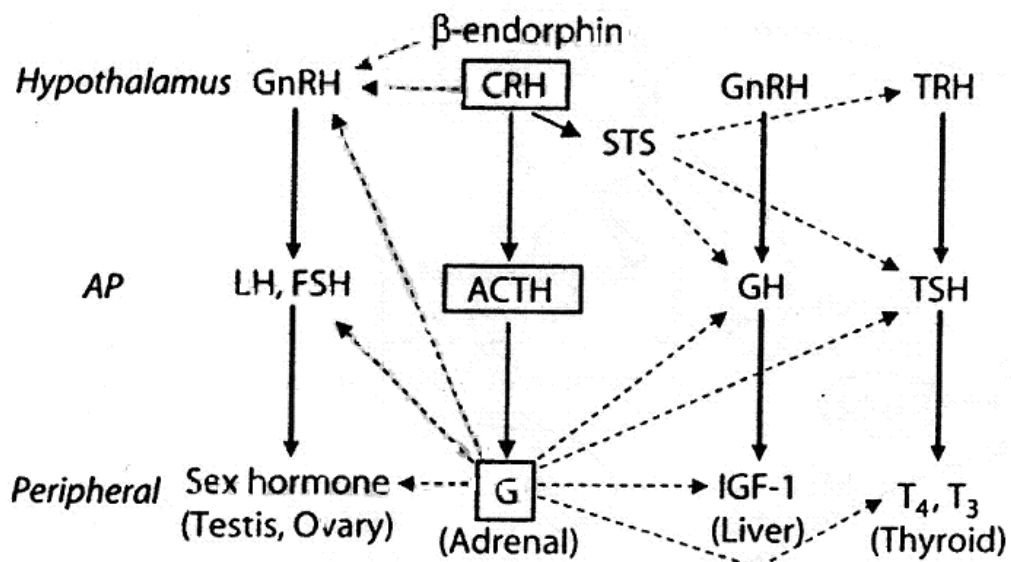
(Sumber: Gilbert SF. Hormones and mammalian eggs maturation. DevBio,2006. Available from: <http://8e.devbio.com/article.php?ch=19&id=275>)

### 2.3 Hubungan Pemajanan Elektromagnet dengan Fertilitas

Reproduksi berkaitan secara langsung dengan sistem stress, dipengaruhi oleh sistem HPA (hipotalamus-pituitari-adrenokortikal). Pada pemajanan stresor, hipotalamus akan menghasilkan *corticotropin releasing hormone* (CRH) yang akan ditransportasi ke aliran darah portal menuju pituitari (hipofisis) anterior, menstimulasi sekresi *adrenocorticotropin* (ACTH). ACTH akan menstimulasi

sekresi glukokortikoid dari korteks adrenal. Hipofisis anterior juga mensekresi beta-endorfin sebagai respons terhadap CRH.<sup>19</sup>

Aksis hipotalamus-hipofisis-gonad juga menunjukkan aktivitas bahwa neuron hipotalamus menghasilkan *gonadotropin-releasing hormone* (GnRH) yang ditransportasi ke sirkulasi portal hipofisis. Sekresi dan lonjakan LH terjadi berdasarkan aktivitas GnRH. Stress dapat menurunkan frekuensi kehamilan dan menghambat lonjakan LH proestrus serta ovulasi. Aksis reproduksi dihambat di seluruh tingkat. CRH yang meningkat pada pemajanan stresor akan menghambat sekresi GnRH. Selain itu beta-endorfin yang dihasilkan hipofisis bersama dengan ACTH sebagai respons terhadap CRH juga menghambat sekresi GnRH yang akhirnya menghambat sekresi LH. Sedangkan glukokortikoid yang dihasilkan sebagai respon terhadap ACTH memiliki efek inhibisi yang luas terhadap reproduksi baik di hipotalamus, hipofisis ataupun hormon perifer (hormon seks).<sup>19</sup> Skema interaksi antara aksis HPA dengan sistem reproduksi dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Skema Interaksi Antara HPA dan Aksis Reproduksi

(Sumber: Kannan Y. Neuroendocrine-immune network in stress. In: The Laboratory Mouse. USA: Elsevier, 2004, p301-7)

Pada penelitian, pemajanan medan elektromagnet ELF selama masa kehamilan dapat menyebabkan efek samping pada kehamilan dan gangguan perkembangan pada keturunannya.<sup>7-10</sup> Menurut penelitian Cao YN et al yang menggunakan pemajanan medan elektromagnet sebesar 50Hz, 1.2mT selama masa kehamilan mencit (8jam/hari), peningkatan berat badan keturunannya lebih perlahan dibandingkan pada kontrol; pembukaan mata dan erupsi gigi terjadi lebih lambat pada keturunan yang terpajan medan elektromagnet.<sup>10</sup> Pada pemajanan medan elektromagnet ELF juga dilaporkan dapat terjadi abortus spontan, terutama pada 9 minggu pertama kehamilan dan terjadi malformasi fetus.<sup>8,9</sup>

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Soleimani et al ditemukan terjadi perubahan pada stroma dan epitel endometrium mencit yang diberikan pemajanan medan elektromagnet sebesar 50 Gauss, 50 Hz selama 3 bulan (4jam/hari). Padahal stroma dan epitel endometrium sangat penting dalam proses implantasi. Sehingga dapat dikatakan bahwa pemajanan medan elektromagnet dapat mengganggu implantasi.<sup>20</sup>

Selain itu, medan elektromagnet ELF dapat mengganggu pembentukan antrum. Folikel dengan kegagalan pembentukan antrum menunjukkan rendahnya pelepasan estradiol dan sintesis DNA sel granulosa. Folikel yang dipajan medan elektromagnet dibandingkan dengan kontrol terdapat penurunan kemampuan maturasi folikel.<sup>7,10</sup>

Salah satu laporan pada mamalia, aplikasi medan frekuensi rendah dapat mempengaruhi kapasitas proliferasi/diferensiasi spermatogonia mencit. Salah satu laporan mengenai penelitian oosit mamalia, oleh Sandra Cecconi et al ditemukan peningkatan apoptosis sel granulosa di fase preantl dan fase antral awal pada mencit yang dipajan ataupun mencit kontrol. Namun, ditemukan folikel yang dipajan hampir tidak memperlihatkan perkembangan antrum, hanya 30% mencit yang dipajan 33 Hz dan setengah dari yang dipajan 50 Hz menunjukkan perkembangan rongga antrum dibandingkan dengan kontrol yang menunjukkan hasil perkembangan rongga antrum 80%. Kemungkinan hal ini terjadi karena medan elektromagnet ELF mempengaruhi mekanisme regulasi yang mengontrol sel somatik (non-germinal) folikel.<sup>7,10</sup>

Namun, berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Pobzhitkov et al pemajanan medan elektromagnet sebesar  $50\text{mW/cm}^2$  10 menit setiap hari sebelum kopulasi, setelah kopulasi dan setelah 12 hari kehamilan pada mencit betina tidak menunjukkan efek terhadap onset kehamilan. Pada kelompok perlakuan ataupun kontrol terdapat jumlah fetus yang hampir sama. Pemajanan medan elektromagnet tidak diikuti dengan terminasi kehamilan atau onset aborsi.<sup>21</sup>

Menurut studi epidemiologi yang dilakukan oleh Gary M Shaw dan Lisa A Croen didapatkan beberapa laporan bahwa terdapat abortus spontan pada kelompok wanita pengguna *video display terminal* (VDT) yang merupakan salah satu alat elektronik yang menghasilkan medan elektromagnet.<sup>8</sup>

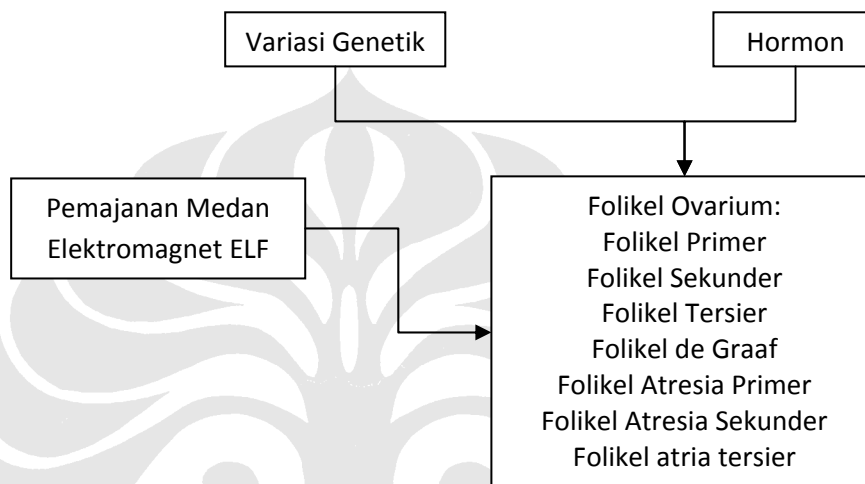
Studi epidemiologi lain yang dilakukan Wertheimer dan Leeper (1989), melihat efek pemajanan medan elektromagnet pada pengguna *electric blanket* dan *waterbed*. Dari hasil studi mereka dilaporkan bahwa rerata kematian fetus per bulan berkaitan dengan peningkatan penggunaan alat-alat tersebut. Secara keseluruhan studi terhadap pemajanan medan magnet ELF memiliki sedikit bukti berkaitan dengan peningkatan risiko aborsi, dan salah satu studi menunjukkan efek kuat terhadap aborsi di masa kehamilan awal.<sup>22</sup>

Beberapa studi menunjukkan membran sel mungkin merupakan reseptor utama untuk medan elektromagnet ELF pada sistem biologi. Penemuan ini mengarahkan pada efek potensial medan elektromagnet ELF terhadap permeabilitas selektif membran plasenta. Menurut teori, hal inilah yang menyebabkan efek samping medan elektromagnet ELF terhadap fetus, baik dengan mengganggu aliran nutrisi esensial dari ibu atau dengan memfasilitasi transport agen teratogenik melewati plasenta. Lebih jauh, medan elektromagnet ELF dapat mengganggu kelenjar hipofisis sehingga mempengaruhi regulasi hormon. Gangguan sistem endokrin maternal dapat menimbulkan efek potensial terhadap pertumbuhan dan perkembangan fetus. Selain itu juga dilaporkan terjadi defek jantung, *facial cleft*, dan hidrokel pada anak dengan ibu yang terpajan pada medan listrik.<sup>23</sup>

Selain itu, Marino et al juga melaporkan penurunan berat badan yang signifikan dan peningkatan mortalitas pada 3 generasi mencit yang dipajankan dengan medan elektromagnet ELF sebesar  $3.5\text{kV/m}$ ,  $60\text{Hz}$  secara kontinu.<sup>24</sup>

Menurut Adair, efek biologik akan muncul sebagai respon terhadap pemajanan medan elektromagnet yang lemah sekalipun, apabila manusia secara rutin terpajan medan elektromagnet, misalnya di rumah ataupun tempat bekerja.<sup>6</sup>

## 2.4 Kerangka Konsep



Gambar 2.5 Diagram Kerangka Konsep