

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Radiasi Elektromagnetik

Medan elektromagnetik listrik merupakan gelombang yang dihasilkan oleh adanya sumber arus dan tegangan. Gelombang elektromagnetik yang dihasilkan oleh sumber listrik dibedakan atas medan listrik dan medan magnet. Medan listrik diberi besaran volt per meter atau kilovolt per meter, yang bersumber dari adanya tegangan listrik; sedangkan medan magnet diberi besaran Tesla yang berasal dari sumber arus yang mengalir (Anies. 2007).

Medan listrik dihasilkan oleh pembentukan muatan listrik di atmosfer yang berhubungan dengan petir dan juga dihasilkan oleh perbedaan tegangan (generator, transmisi, distribusi) semakin tinggi tegangannya semakin besar medan listriknya dan medan listrik tetap ada walaupun tidak ada arus yang mengalir sedangkan medan magnet dihasilkan bila ada arus listrik yang mengalir, semakin besar arus yang mengalir semakin besar medan magnetnya dan nilainya bervariasi sesuai dengan daya yang diserap oleh peralatan listrik. (Dunn, 2005).

Keberadaan medan magnet telah disadari oleh bangsa Yunani lebih dari 2000 tahun lalu, melalui sejenis batuan tertentu (sekarang disebut magnetit) dapat menarik potongan besi. Setiap magnet bagaimanapun bentuknya selalu memiliki dua kutub, kutub utara dan kutub selatan. Gaya terbesar yang dikerahkan oleh magnet terdapat di kedua kutub ini. Medan magnet adalah suatu medan atau ruangan yang dapat menimbulkan gaya pada benda-benda magnet atau partikel bermuatan listrik. Tidak seperti cahaya, yang berjalan jauh dari sumbernya tanpa batas, garis fluks magnetik akhirnya harus kembali ke sumbernya. Jadi semua sumber magnetik yang dikatakan memiliki dua kutub. Garis fluks dikatakan berasal dari kutub utara dan kembali ke kutub selatan. Kuat medan magnet dinyatakan dalam satuan Tesla (T) atau microtesla (μT). Unit lain, yang umumnya digunakan adalah Gauss (G) atau milligauss (mg), di mana 1 T adalah setara 10.000 G (atau $1 \mu\text{T} = 10 \text{ mG}$) (Coilot, *et al.*, 2008).

Radiasi elektromagnetik adalah kombinasi medan listrik dan medan magnet yang beresilasi dan merambat lewat ruang dan membawa energi dari satu tempat ke tempat yang lain. Cahaya tampak adalah salah satu bentuk radiasi elektromagnetik. Penelitian teoritis tentang radiasi elektromagnetik disebut elektrodinamik, sub-bidang elektromagnetisme. Dasar teori dari perambatan gelombang elektromagnetik pertama kali dijelaskan pada 1873 oleh James Clerk Maxwell dalam papernya di Royal Society mengenai *teori dinamika medan elektromagnetik* (bahasa Inggris: *A dynamical theory of the*

electromagnetic field), berdasarkan hasil kerja penelitiannya antara 1861 dan 1865 (Nikki, 2010).

Radiasi dalam istilah fisika, pada dasarnya adalah suatu cara perambatan energi dari sumber energi ke lingkungannya tanpa membutuhkan medium, misalnya perambatan panas, perambatan cahaya, dan perambatan gelombang radio. Dikenal dua jenis radiasi, yaitu radiasi pengion (*ionizing radiation*) dan radiasi nonpengion (*non-ionizing radiation*) (Anies, 2007).

Gelombang mikro merupakan salah satu yang termasuk dalam radiasi elektromagnetik. Radiasi elektromagnetik berbentuk gelombang elektromagnetik, yaitu gelombang yang dalam perambatannya tidak membutuhkan medium. Radiasi elektromagnetik ini meliputi gelombang radio, gelombang mikro, radiasi infra-red, gelombang UV, sinar X, dan sinar Y, yang mana semua radiasi tersebut memiliki persamaan, yakni sama-sama membentuk spektrum elektromagnetik yang bergerak dengan kecepatan cahaya. Perbedaannya adalah pada panjang gelombangnya. Panjang gelombang ialah jarak yang ditempuh sebuah gelombang untuk membentuk satu siklus yang sempurna. Panjang gelombang terkait dengan jumlah energi yang dibawa oleh gelombang. Gelombang mikro merupakan sistem pelaksanaan hubungan komunikasi dengan pemancar radio dengan menggunakan gelombang-gelombang yang pendek (*mikro*). Gelombang mikro ini bergerak dalam satu arah garis lurus (*one point line-of-sight*) dan

mempunyai panjang gelombang yang lebih pendek dibandingkan dengan sistem radio komunikasi biasa (Grant, *et al.*, 2008).

Radiasi secara garis besar digolongkan menjadi dua, yaitu ke dalam radiasi pengion dan radiasi non – pengion. Radiasi pengion adalah jenis radiasi yang dapat menyebabkan proses ionisasi. Setiap jenis radiasi mempunyai karakteristik khusus, yaitu (Anugrah, 2011) :

1. Partikel α (alpha)

Mempunyai ukuran dan muatan listrik positif yang besar. Tersusun dari dua proton dan neutron, sehingga identik dengan inti atom helium. Daya ionisasi sangat besar, kurang lebih 100 kali daya ionisasi partikel beta dan 10.000 kali daya ionisasi sinar – X.

2. Partikel β (beta)

Mempunyai ukuran dan muatan listrik lebih kecil dari partikel alpha. Dengan ukurannya yang lebih kecil, partikel beta mempunyai daya tembus yang lebih besar dari partikel alpha.

3. Sinar – γ (gamma)

Tidak mempunyai besaran volume dan muatan listrik sehingga dikelompokkan ke dalam gelombang elektromagnetik. Daya ionisasinya dalam medium sangat kecil. Sinar γ tidak terbelokan oleh medan listrik, sehingga daya tembusnya sangat besar.

4. Sinar – X

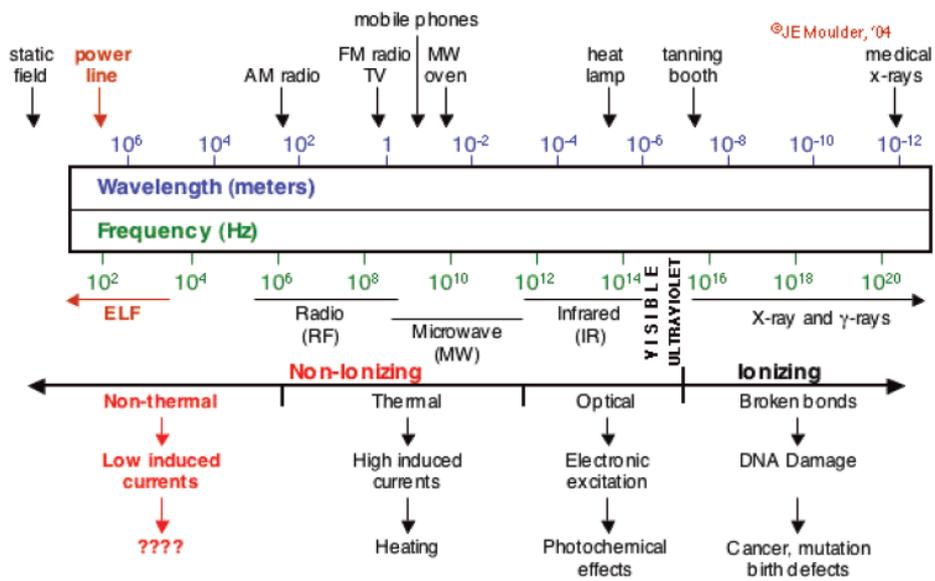
Mempunyai kemiripan dengan sinar γ , yaitu dalam hal daya jangkau pada suatu media dan pengaruhnya oleh medan listrik. yang membedakan terhadap keduanya adalah proses terjadinya.

5. Partikel neutron

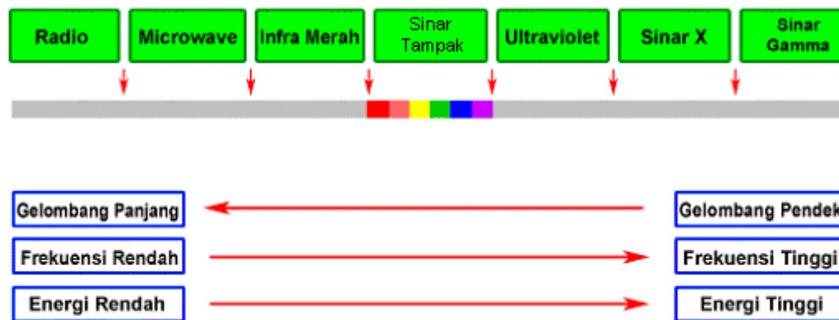
Mempunyai ukuran kecil dan tidak mempunyai muatan listrik. karena ukurannya yang kecil, maka partikel neutron memiliki daya tembus yang tinggi.

Radiasi non pengion adalah jenis radiasi yang tidak akan menyebabkan efek ionisasi apabila berinteraksi dengan materi. Radiasi non pengion antara lain adalah gelombang radio, gelombang mikro yang digunakan microwave, sinar inframerah, sinar ultraviolet dan cahaya tampak (Anugrah, 2011).

Gelombang elektromagnetik dapat dihasilkan dari rangkaian osilator, dengan frekuensi paling rendah sampai frekuensi yang sangat tinggi. Jangka frekuensi gelombang elektromagnetik disebut dengan spektrum gelombang elektromagnetik, termasuk frekuensi 50 Hz yang ada pada jala-jala listrik. Spektrum frekuensi gelombang elektromagnetik beserta ukuran panjang gelombangnya dapat dilihat pada Gambar 3. (Marpanaji, 2009).



Gambar 3. Skema Gelombang Mikro (Anies, 2007)



Gambar 4. Skema Gelombang Elektromagnetik (Surya, 2010b)

Berdasarkan spektrum gelombang elektromagnetik tersebut, daerah frekuensi yang digunakan untuk komunikasi radio adalah frekuensi 10^4 s.d. 10^{12} Hz atau panjang gelombang 10^4 s.d. 10^{-4} meter. Frekuensi gelombang radio ini kemudian dibagi menjadi beberapa band berdasarkan karakteristik propagasinya. Pembagian band frekuensi gelombang radio (Shari, 2008) :

Tabel 1. Pembagian Frekuensi Gelombang Radio

No.	Pita Frekuensi	Rentang Frekuensi
1	<i>Extremely Low Frequency (ELF)</i>	< 3kHz
2	<i>Very Low Frequency (VLF)</i>	3 - 30 kHz
3	<i>Low Frequency (LF)</i>	30 - 300 kHz
4	<i>Medium Frequency (MF)</i>	300 kHz – 3 MHz
5	<i>High Frequency (HF)</i>	3 - 30 MHz
6	<i>Very High Frequency (VHF)</i>	30 - 300 MHz
7	<i>Ultra High Frequency (UHF)</i>	300 MHz – 3 GHz
8	<i>Super High Frequency (SHF)</i>	3 - 30 GHz
9	<i>Extra High Frequency (EHF)</i>	30 - 300 GHz

Sumber: Shari, 2008

Batas pajanan medan listrik dan medan magnet yang direkomendasikan oleh WHO dan IRPA, serta Ikatan Dokter Indonesia (IDI), adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Batas Pajanan Medan Listrik dan Medan Magnet

Tabel Batas Pajanan Medan Listrik dan Medan Magnet Keterangan	Medan Listrik (kV/m)	Medan Magnet (mT)
1. Lingkungan kerja		
a. Sepanjang hari kerja	10	< 0,5
b. Waktu singkat	30 (s/d 2 jam/hari)	5,0 (s/d 2 jam/hari)
2. Lingkungan umum :		
a. Sampai 24 jam/hari	5	0,1 (ruang terbuka)
b. Beberapa jam/hari	10	1

Sumber: WHO (1987); IRPA (1990); IDI (1997).

Tubuh manusia akan disinari oleh berbagai frekuensi gelombang magnetik yang kompleks. Tingkat paparan gelombang elektromagnetik dari berbagai frekuensi berubah secara signifikan sejalan dengan perkembangan teknologi yang menimbulkan kekhawatiran bahwa paparan dari gelombang elektromagnetik ini dapat berpengaruh buruk terhadap kesehatan fisik manusia. *Electrical sensitivity* adalah gangguan fisiologis dengan tanda dan gejala neurologis maupun kepekaan, berupa berbagai gejala dan keluhan. Gangguan ini umumnya disebabkan oleh radiasi elektromagnetik yang berasal dari jaringan listrik tegangan tinggi atau ekstra tinggi, peralatan elektronik di rumah, di kantor maupun industri. Termasuk telepon seluler (ponsel) maupun *microwave oven*, ternyata sangat potensial menimbulkan berbagai keluhan tersebut (Arief dan Atsirin, 2000).

Radiasi elektromagnetik berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan tertentu. Berbagai potensi gangguan kesehatan tersebut menurut (Anies, 2007) adalah:

1. Sistem darah, berupa leukemia dan limfoma malignum.
2. Sistem reproduksi laki-laki, berupa infertilitas.
3. Sistem saraf, berupa degenerative saraf perifer.
4. Sistem kardiovaskular berupa, perubahan ritme jantung.
5. Sistem endokrin, berupa perubahan metabolisme hormon melatonin.
6. Psikologis, berupa neurosis dan gangguan irama sirkadian.
7. Hipersensitivitas.

B. *Microwave oven*

Microwave oven adalah oven yang menggunakan bantuan *microwave* (gelombang mikro) untuk memasak makanan. Sebenarnya gelombang ini merupakan gelombang radio, tetapi panjang gelombangnya lebih kecil dari gelombang radio biasa. Panjang gelombangnya termasuk *ultra-short* (sangat pendek) sehingga disebut juga mikro. Dari sinilah lahir istilah *microwave*. *Microwave oven* sendiri bisa bekerja begitu cepat dan efisien karena gelombang elektromagnetiknya menembus makanan dan mengeksitasi molekulmolekul air dan lemak secara merata (tidak cuma permukaannya saja). Ini memberi kesan *microwave oven* adalah oven pintar yang bisa memilih untuk memasak hanya makanannya saja, bukan wadahnya (Surya, 2010).

Microwave oven memanfaatkan *microwave* atau gelombang mikro. Gelombang mikro adalah salah satu gelombang elektromagnetik dalam spektrum gelombang elektromagnet. Gelombang mikro dapat digunakan sebagai pemanas makanan karena gelombang mikro akan dipantulkan oleh bahan logam seperti baja atau besi yang menjadi bahan dasar dari oven *microwave* sehingga panas terkurung di dalam. Kedua, gelombang ini dapat menembus bahan non logam tanpa memanaskannya. Terakhir adalah gelombang ini akan diserap oleh air. Secara lebih detail gelombang mikro membuat molekul-molekul yang terdapat pada makanan yang dimasak bergoncang secara acak sehingga menghasilkan gesekan-gesekan antar molekul yang menghasilkan panas (Potter dan Christopher, 2010).

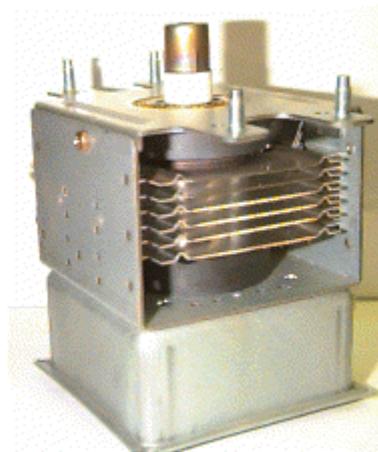
Pada dasarnya fungsi utama *microwave oven* adalah sama dengan kompor yaitu menaikkan suhu makanan. Karena makanan akan masak pada suhu tinggi maka microwave dapat digunakan untuk memasak makanan, mencairkan makanan beku dari freezer atau sekedar menghangatkan makanan dingin. Namun, karena cara kerja microwave menggunakan gelombang mikro, sedangkan kompor menggunakan api, maka cara memasak makanan dengan kompor juga sangat berbeda dengan microwave, sehingga dalam penerapannya microwave tidak dapat disamakan dengan kompor (Anonim, 2011).

Setiap gelombang elektromagnet membawa sejumlah energi yang dapat diolah untuk keperluan manusia. Panjang masing-masing jenis gelombang elektromagnetik yang berbeda-beda akan mempengaruhi perilaku gelombang jika bereaksi dengan berbagai jenis materi. Perpindahan energi gelombang elektromagnetik dilakukan secara radiasi, yaitu perpindahan yang tidak memerlukan medium perantara (Surya, 2010).

Microwave oven yang sekarang beredar dipasaran sangat banyak bentuknya. Teknologi yang digunakan juga sudah semakin beragam. Pada Gambar dibawah menunjukkan sebuah *microwave oven* dan komponen-komponen penyusun dari sebuah *microwave oven*. Berikut adalah gambar dari sebuah *microwave oven* beserta komponennya yang biasa digunakan di rumah tangga untuk memasak (Febrian *et al.*, 2011).

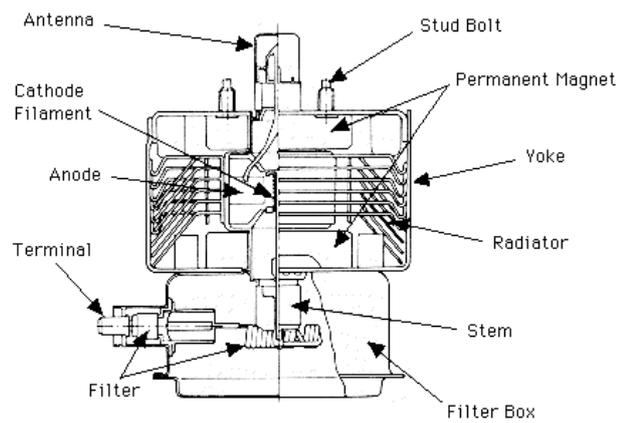


Gambar 5. *Microwave oven* (Febrian *et al.*, 2011)



Gambar 6. Magnetron (Febrian *et al.*, 2011)

Di dalam setiap microwave terdapat sebuah magnetron. Magnetron adalah sejenis tabung hampa penghasil gelombang mikro. Fungsi magnetron adalah memancarkan gelombang mikro ke dalam microwave. Pada awalnya magnetron dirancang untuk penggunaan radar. Gelombang mikro yang digunakan sama dengan gelombang yang digunakan di dunia telekomunikasi seperti radar, gelombang pemancar stasiun radio, gelombang pemancar stasiun televisi, atau gelombang sinyal handphone. Gelombang mikro sendiri adalah salah satu gelombang radio (Surya, 2010).



Gambar 7. Skema Magnetron (Febrian *et al.*, 2011)



Gambar 8. Waveguide dalam *Microwave oven* (Febrian *et al.*, 2011)



Gambar 9. Microwave Stirrer (Febrian *et al.*, 2011)

Waveguide adalah sebuah komponen yang didesain untuk mengarahkan gelombang. Untuk tiap jenis gelombang waveguide yang digunakan tidak sama. Waveguide untuk gelombang mikro dapat dibangun dari bahan konduktor. *Stirrer* adalah komponen yang menyerupai baling-baling ini digunakan untuk menyebarkan gelombang mikro di dalam *microwave oven*. Biasanya dikombinasikan dengan sebuah komponen seperti piringan yang dapat diputar pada bagian bawah. Kombinasi ini memungkinkan kecepatan tingkat kematangan yang merata saat memasak (Febrian *et al.*, 2011).

Zat yang dapat dipanaskan oleh microwave dapat dikatakan harus mengandung air atau cairan. Namun, karena setiap makanan pasti mengandung cairan, maka makanan dapat dipanaskan oleh microwave. Zat makanan lain yang juga akan menyerap panas microwave adalah gula, garam dan lemak. Perlu diperhatikan bahwa fenomena ini menyebabkan cara memasak berbagai jenis makanan akan berbeda-beda tergantung dari kadar cairan yang berada pada setiap unsur-unsur makanan yang akan dimasak. Logam tidak dapat ditembus oleh gelombang mikro dikarenakan kerapatan molekul logam lebih rapat dibanding panjang gelombang dari gelombang mikro. Namun aluminium foil yang tipis masih dapat ditembus oleh gelombang mikro, hal ini dapat dimanfaatkan untuk memasak makanan yang banyak mengandung air atau lemak yang lebih mudah panas agar tidak cepat gosong. Kesimpulannya adalah gelombang mikro memang dapat memanaskan makanan, dan jika gelombang mikro berada di

dalam kotak baja, maka gelombang mikro akan terperangkap di dalamnya dan dapat meningkatkan suhu makanan dalam waktu yang cepat (Surya, 2010).

Dipasaran ada beberapa tipe dari *microwave oven*, pembagian tipe *microwave oven* tersebut didasarkan pada ukuran dari microwave tersebut. Klasifikasinya dapat disebutkan sebagai berikut (Febrian *et al.*, 2011) :

1. *Compact Microwave*

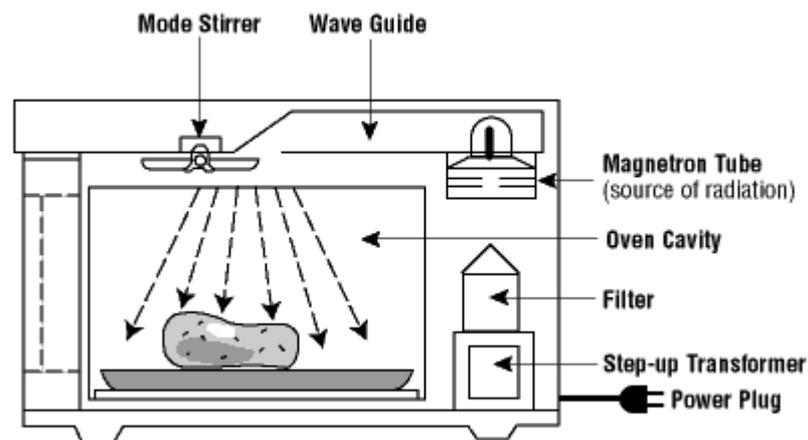
Compact microwave disebut juga sebagai portable microwave, yaitu tipe terkecil dari microwave oven. Ukuran dari oven jenis ini sekitar 46 cm untuk lebarnya, 35 cm untuk tebalnya dan 30 cm untuk tingginya. Tenaga yang digunakan untuk mengoperasikan oven jenis ini antara 500 sampai 1000 watt.

2. *Medium Capacity Microwave*

Microwave jenis ini mempunyai ukuran lebih besar dari compact microwave. Untuk tenaga listrik yang dibutuhkan untuk mengoperasikan oven jenis ini sekitar 1000-1500 watt. Jenis microwave ini mempunyai kemampuan untuk memasak dan menghangatkan makanan lebih cepat dibanding dengan compact microwave.

3. *Large Capacity Microwave*

Jenis oven ini adalah jenis yang terbesar dengan ukuran lebih besar daripada medium microwave. Tenaga listrik yang dibutuhkan untuk mengoperasikan oven jenis ini mencapai 2000 watt. Large microwave cocok digunakan untuk restoran ataupun tempat-tempat yang membutuhkan makanan dalam jumlah yang besar.



Gambar 10. Skema Pancaran Radiasi Microwave (Atmaja, 2012)

Microwave oven umumnya diletakkan di dapur sangat dekat dengan orang-orang yang sedang beraktifitas di tempat ini. Rata-rata penempatan perangkat ini antara 1 – 1,5 meter dari orang yang sedang melakukan kegiatan di dapur. Beberapa literatur dan teori yang ada, dengan menjaga jarak aman dari sebuah *oven microwave* yang sedang dalam keadaan beroperasi, akan menghindari atau paling tidak meminimalisir dampak radiasi yang ditimbulkan dari perangkat tersebut. Diusahakan menggunakan *oven microwave* hanya untuk keperluan tertentu yang mendesak seperti (menghangatkan makanan), Gelombang mikro yang dihasilkan oleh sebuah oven microwave sebesar 10 mW/cm^2 . . Oven mikrogelombang bekerja dengan memancarkan radiasi gelombang mikro, biasanya pada frekuensi 2.450 MHz dengan panjang gelombang 12,24 cm. Nilai ambang batas aman yang direkomendasikan untuk gelombang mikro mencapai 10 mW/cm^2 berlaku di Amerika, sedangkan di Rusia, nilai ambang batas amannya sebesar $0,01 \text{ mW/cm}^2$ (Atmaja, 2012).

C. Malformasi

Malformasi kongenital, anomali kongenital, dan cacat lahir adalah istilah yang sama maknanya, yang digunakan untuk menerangkan kelainan struktural, perilaku, faal, dan kelainan metabolik yang terdapat pada waktu lahir (Sadler, 2000). Anomali ditandai dengan penyimpangan dari standar normal, terutama sebagai akibat dari defek kongenital (Dorland, 2002). Menurut (Sadler,2000) ada beberapa jenis anomali:

1. Malformasi terjadi selama pembentukan struktur, yaitu pada saat organogenesis. Cacat jenis ini bisa menyebabkan hilangnya sama sekali atau sebagian sebuah struktur atau perubahan-perubahan konfigurasi normal. Malformasi disebabkan oleh faktor lingkungan, dan atau genetik yang bekerja sendiri atau bersama-sama. Kebanyakan malformasi berawal dari minggu ke-3 hingga ke-8 kehamilan. Beberapa jenis malformasi yang dapat terjadi berupa: hipoplasia rahang atas, fisura palpebra pendek, cacat jantung, dan cacat pada tungkai.
2. Disrupsi menyebabkan perubahan morfologi struktur organ setelah pembentukannya dan disebabkan oleh proses-proses yang merusak.
3. Deformasi disebabkan oleh gaya mekanik yang mencetak sebagian janin dalam jangka waktu yang lama. Deformasi sering mengenai sistem kerangka-otot dan bisa pulih kembali setelah lahir.

4. Sindrom merujuk pada sekelompok cacat yang terjadi bersamaan, mempunyai etiologi yang spesifik dan sama.

Dilihat dari bentuk morfologik, maka kelainan kongenital dapat berbentuk suatu deformasi ataupun bentuk malformasi. Suatu kelainan kongenital yang berbentuk deformasi, secara anatomik susunannya masih sama tetapi bentuknya yang akan tidak normal. Sedangkan bentuk kelainan kongenital malformasi, susunan anatomik maupun bentuknya akan berubah (Prawirohardjo, 2007). Malformasi ini dapat timbul akibat dari proses perkembangan abnormal secara intrinsik (Dorland, 2002).

Sebab pasti malformasi sudah diketahui pada separuh kasus. Faktor lingkungan salah satu penyebab terjadinya malformasi. Timbulnya malformasi dari faktor lingkungan dan sifatnya berkaitan dengan waktu periode terjadinya paparan intrauterin dan perbedaan penerimaannya pada berbagai sistem organ (Sadler, 2000).

Teratogen berasal dari bahasa Yunani, teratos yang berarti monster. Karena penurunan kata ini menunjukkan adanya cacat yang nyata maka teratogen paling tepat didefinisikan sebagai suatu zat yang menimbulkan kelainan struktural. Teratogen adalah setiap agen baik kimia, virus, agen lingkungan, faktor fisik dan obat-obatan yang mempengaruhi pertumbuhan embrio atau fetus sehingga terjadi perubahan permanen dari bentuk dan fungsi dari fetus. Karena kelainan struktural saat lahir sering langsung dikenali, keterkaitan hal

tersebut dengan suatu zat tertentu sering mudah diperkirakan. Namun sebagian kelainan kongenital belum muncul sampai beberapa waktu kemudian. Dalam teratologi dikenal dua istilah yaitu hadegen dan trofogen. Hadegen yaitu zat yang mengganggu pematangan dan fungsi normal suatu organ. Trofogen adalah zat yang mengganggu pertumbuhan. Hadegen dan trofogen umumnya mempengaruhi proses-proses yang terjadi setelah organogenesis atau bahkan setelah lahir. Teratogen yang saat ini diketahui antara lain adalah zat kimia, virus, agen lingkungan, faktor fisik, dan obat (Meister, 2011).

Prinsip teratologi yaitu faktor yang menentukan kemampuan suatu agen untuk menghasilkan anomali atau kelainan kongenital. Prinsip teratologi antara lain (Meister, 2011) :

1. Kemampuan terhadap terjadinya teratogenesis sangat bergantung pada genotip dari hasil konsepsi dan interaksi antara faktor genetik dan lingkungan.
2. Kemampuan dari suatu agen teratogen sangat bergantung pada waktu pemaparan dengan stadium perkembangan janin.
3. Manifestasi dari perkembangan yang abnormal sangat bergantung pada dosis dan lamanya waktu terpapar dengan agen teratogenik.
4. Teratogen bekerja dengan cara spesifik pada sel dan jaringan yang tumbuh dan berkembang untuk menyebabkan perubahan pada embriogenesis.
5. Manifestasi dari perkembangan abnormal sebagai akibat dari agen teratogen antara lain meninggal, malformasi, retardasi pertumbuhan, dan gangguan fungsional.

Teratogen kemungkinan bekerja dengan cara mengganggu proses-proses patogenetik spesifik yang menyebabkan kematian sel, perubahan pertumbuhan jaringan, kelainan diferensiasi sel, atau gangguan terhadap perkembangan normal. Untuk beberapa zat, mekanisme yang diperkirakan diperoleh dari pengamatan klinis dan riset pada hewan (Meister, 2011).

Menurut Lu (1994), ada 3 tahap perkembangan embrio yang sangat berpengaruh terhadap efek pemberian zat teratogen, yaitu :

a. Tahap Pradiferensiasi

Pada awal kebuntingan sel-sel belum terdiferensiasi maka sel-sel tersebut masih bersifat totipotensi. Sehubungan dengan itu, tahap pradiferensiasi tersebut adalah tahap dimana embrio tidak rentan terhadap zat teratogen, karena sel yang masih hidup akan menggantikan kerusakan tersebut dan akan membentuk embrio normal. Lama keadaan resisten ini berkisar antara 5-9 hari tergantung dari spesies. Selanjutnya jika sel telah mengalami diferensiasi maka zat teratogen yang masuk ke dalam tubuh induk, baik yang mencapai embrio ataupun tidak akan menimbulkan efek yang merugikan pada embrio.

b. Tahap Embrio

Pada tahap embrio dimana sel secara intensif mengalami diferensiasi, mobilisasi dan organogenesis, akibatnya embrio sangat rentan terhadap efek teratogen. Periode ini biasanya berakhir pada hari ke 10-14 kebuntingan pada hewan pengerat. Namun tidak semua organ rentan pada saat yang sama dalam satu kebuntingan. Sebagian besar embrio tikus

maupun mencit mulai rentan pada hari ke 8 dan berakhir pada hari ke 12 kehamilan.

c. Tahap Fetus

Tahap ini merupakan tahap lanjut dari embrio, tahap ini ditandai dengan perkembangan dan pematangan fungsi, artinya dalam tahap ini zat teratogen tidak akan menyebabkan cacat tetapi mengakibatkan kelainan fungsi. Cacat luar mudah dideteksi pada saat kelahiran atau sesaat setelah kelahiran, tetapi kelainan fungsi tidak mungkin dapat diketahui segera setelah kelahiran.

D. Biologi Mencit (*Mus musculus* L)

1. Klasifikasi

Menurut Nowak dan Paradiso (1983) mencit diklasifikasikan sebagai berikut:

Kingdom	: Animalia
Phyllum	: Chordata
Sub Phyllum	: Vertebrata
Class	: Mamalia
Ordo	: Rodentia
Sub Ordo	: Mymorpha
Familia	: Muridae
Genus	: Mus
Spesies	: <i>Mus musculus</i> .

Mencit (*Mus musculus* L) merupakan hewan pengerat, termasuk dalam ordo Rodentia dan famili Muridae. Mencit merupakan hewan mamalia paling kecil dan yang sering digunakan sebagai hewan penelitian di laboratorium. Mencit laboratorium adalah turunan dari mencit rumah dan mencit liar setelah melalui peternakan selektif. Mempunyai ciri-ciri umum berwarna keabu-abuan atau putih, mata berwarna merah atau hitam, kulit berpigmen dan perut sedikit pucat. Berat badan bervariasi, pada umur 4 minggu berat badan mencapai 18-20 gram. Mencit dewasa umur 6 bulan berat badan dapat mencapai 30-44 gram atau lebih (Smith dan Mangkoewidjojo, 1988).

Mencit laboratorium dapat bertahan hidup selama 1-3 tahun. Lama mencit bunting 19-21 hari dan dewasa umur 35 hari. Mencit dapat melahirkan 6-15 ekor. Mencit jantan dan betina siap kawin pada umur 8 minggu. Siklus estrus atau masa birahi 4-5 hari dengan lama estrus 12-14 jam. Fase estrus dimulai antara jam 4 sore dan jam 10 malam. Perkawinan mencit terjadi pada saat estrus, dengan fertilisasi 2 jam setelah kawin. Ciri-ciri terjadinya perkawinan adalah ditemukannya sumbat vagina, yaitu cairan mani jantan yang menggumpal (Smith dan Mangkoewidjojo, 1988).



Gambar 11. Morfologi mencit (*Mus musculus* L) (Tetebano, 2011)

2. Embriologi

Embriologi dalam arti luas, meliputi pengetahuan embrio pralahir dan perkembangan pasca lahir karena perkembangan makhluk berkelanjutan. Embrio adalah makhluk sedang berkembang yang bentuk morfologinya menyerupai bentuk dewasa. Tahap perkembangan embrio secara sistematis meliputi progenesis, embriogenesis dan organogenesis (Sukra, 2000).

a. Progenesis

Tahap progenesis adalah tahap perkembangan individu baru yang dimulai dari gametogenesis yaitu dengan terbentuknya empat sperma pada jantan dan satu ovum pada betina. Gametogenesis terjadi pada individu dewasa yang kemudian dilanjutkan dengan adanya fertilisasi membentuk zigot. Keberhasilan fertilisasi ditandai dengan adanya kebuntingan. Selama periode kebuntingan akan terjadi serangkaian proses perkembangan embrio (embriogenesis) yang secara holistik terdiri dari tahap proliferasi, pertumbuhan dan integrasi antar system tubuh menjadi satu kesatuan fungsional zigot (Panjaitan, 2003).

b. Embriogenesis

Tahap embriogenesis diawali dengan proses pembelahan atau proliferasi yaitu penambahan jumlah sel setelah terjadi pembuahan. Zigot berproliferasi dengan cara membelah diri secara mitosis sehingga menjadi blastomer, morula, blastula dan gastrula. Pembelahan ini disebut blastogenesis (Sukra, 2000).

Tahap pertumbuhan embrio dalam rahim tumbuh menjadi lebih besar sesuai usia kehamilan, sedangkan tahap integrasi yaitu berfungsinya perangkat kelengkapan tubuh sebagai supra system misalnya unsur-unsur pernafasan, integrasi antar system tubuh seperti system reproduksi, endokrin dan sebagainya (Panjaitan, 2003).

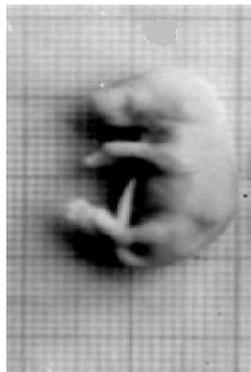
c. Organogenesis

Pada tahap ini terjadi proses pembentukan organ dari lapisan ectoderm, mesoderm dan endoderm. Lapisan ektoderm akan membentuk susunan saraf, lapisan epidermis kulit, bagian mulut dan anus. Lapisan mesoderm akan membentuk otot, pembuluh darah, dan jaringan pengikat. Lapisan endoderm membentuk lapisan saluran pencernaan dan berbagai organ pencernaan seperti hati dan pancreas (Villoe *et al.*, 1984).

Pembelahan sel yang pertama pada tikus maupun mencit terjadi 24 jam (1 hari) setelah pembuahan. Pembelahan terjadi secara cepat di dalam oviduk dan berulang-ulang. Menjelang hari ke 2 setelah pembuahan embrio sudah

berbentuk morula 16 sel. Bersamaan dengan pembelahan, embrio bergulir menuju uterus. Menjelang hari ke 3 kebuntingan embrio telah masuk ke dalam uterus, tetapi masih berkelompok-kelompok. Pada akhirnya embrio akan menyebar di sepanjang kandungan dengan jarak yang memadai untuk implantasi dengan ruang yang cukup selama masa pertumbuhan (Rugh, 1971).

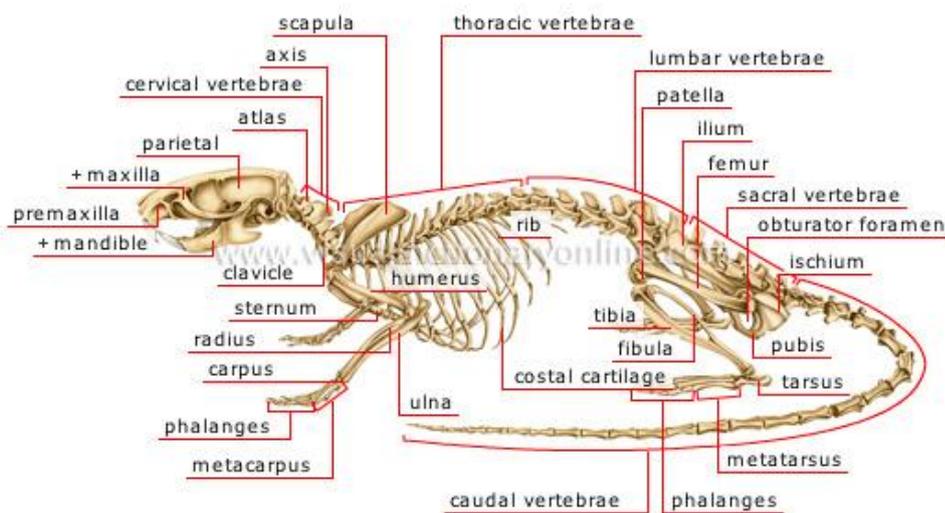
Pada akhir tahap pembelahan akan terbentuk blastula. Blastula akan membentuk massa sel sebelah dalam dan tropoderm yang akan berkembang menjadi plasenta. Massa sel akan berkembang menjadi hipoblas dan epiblas, dimana epiblas akan berkembang menjadi embrio sedangkan hipoblas akan berkembang menjadi selaput ekstra embrio. Blastomer akan terimplantasi pada hari ke 4 kebuntingan dan berakhir pada hari ke 6 kebuntingan. Kemudian diikuti dengan proses gastrulasi, yakni adanya perpindahan sel dan differensiasi untuk membentuk lapisan ectoderm, endoderm dan mesoderm. Akhir tahap perkembangan embrio adalah proses pembentukan organ dari lapisan ectoderm, mesoderm dan endoderm dan derivat-derivatnya (Rugh, 1971).



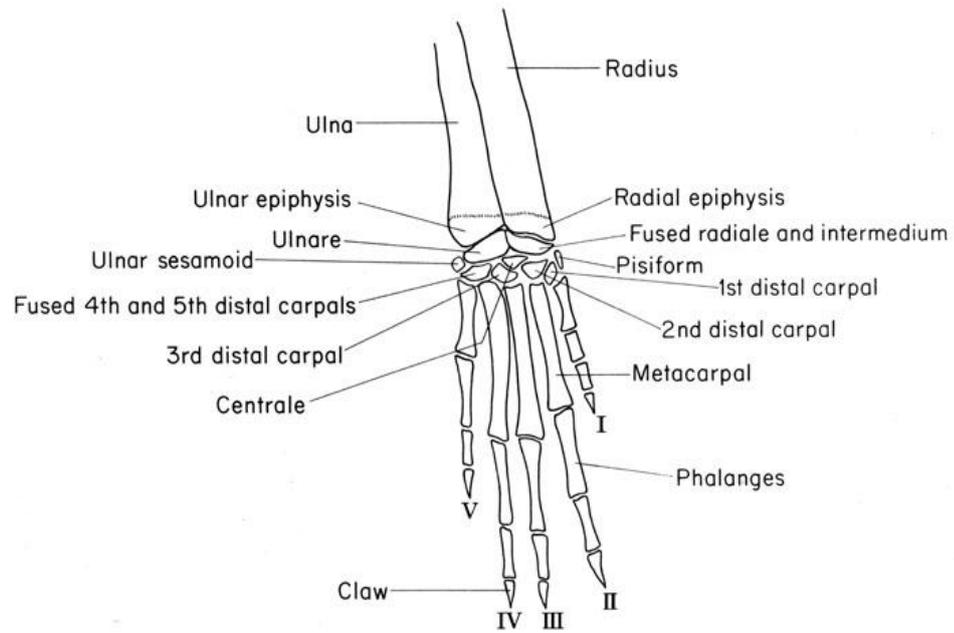
Gambar 12. Morfologi Fetus Normal Mencit (Iriani, 2009)

3. Ekstremitas Depan

Ekstremitas depan pada mencit hampir mirip dengan manusia terbagi atas regio brachii, regio antebrachii, dan regio manus. Adapun regio brachii terdiri atas os (tulang) humerus yang menghubungkan os scapula dengan os radius dan os ulna. Regio antebrachii terdiri atas os radius dan os ulna dimana dibagian medial yaitu os ulna dan di bagian lateral os radius. Antara regio brachii dan regio antebrachii terdapat articulatio cubiti. Pada regio manus terdiri dari beberapa kumpulan tulang yaitu osses carpal, osses metacarpal dan osses phalanges.



Gambar 13. Kerangka Mencit (*Mus musculus* L.) (Amsel, 2012)



Gambar 14. Ekstremitas Depan Mencit (*Mus musculus* L.) (Cook, 2012)