



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH MEDAN LISTRIK TERHADAP PERTUMBUHAN
SEL KANKER**

MURSILATUN

0606068493

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI S1 FISIKA
DEPOK
JUNI 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGARUH MEDAN LISTRIK TERHADAP PERTUMBUHAN
SEL KANKER**

SKRIPSI

Diajukan sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana

Oleh

MURSILATUN

0606068493

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
PROGRAM STUDI S1 FISIKA
PEMINATAN FISIKA MEDIS DAN BIOFISIKA
DEPOK
JUNI 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Mursilatun

NPM : 0606068493

Tanda Tangan :

Tanggal :

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Mursilatun
NPM : 0606068493
Program Studi : S1 Fisika
Judul Skripsi : PENGARUH MEDAN LISTRIK TERHADAP
PERTUMBUHAN SEL KANKER

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi S1 Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Warsito ()

Pembimbing : Prof. Dr. Djarwani S. S. ()

Penguji : Dwi Seno Kuncoro, M.Si ()

Penguji : Kristina Tri Wigati, M.Si ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 24 Juni 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT, Tuhan semesta alam yang telah memberikan segala kenikmatan dan anugrah terutama nikmat keimanan, kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan Penelitian Tugas Akhir sesuai rencana. Shalawat dan salam penulis sampaikan kepada teladan sepanjang zaman Rasulullah SAW beserta para keluarga dan sahabatnya. Begitu banyak kesulitan yang ditemui selama pengerjaan, tetapi berkat jasa orang-orang di sekitar penulis maka skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. **Mama (Saliyem), Bapak (Amad Mursidi), dan juga adik-adikku tercinta (Mustolih, Roni, Ayat, Arni)** atas doa, kasih sayang, perhatian, pengertian, serta dorongan semangat yang tak pernah padam, dan semua pengorbanan yang telah diberikan.
2. **Bapak Dr. Warsito, M.Eng** selaku Dosen Pembimbing I dan Direktur CTECH LABS PT Edward Technology yang telah memberi kesempatan kepada penulis untuk menambah ilmu dan membimbing penulis dengan penuh kesabaran.
3. **Prof. Dr. Djarwani S. S.** selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberi saran dan juga masukan bagi penulis dalam melaksanakan penelitian dengan penuh kesabaran.
4. **Bapak Dwi Seno Kuncoro, M.Si dan Ibu Kristina TW, M.Si** selaku Dewan Penguji atas saran dan juga kritikan terhadap penulis sehingga penulis menjadi lebih berkembang.
5. **Dr. Arief Budi Witarto** selaku pembimbing lapangan atas bantuan, saran dan juga masukan selama penulis melakukan eksperimen.
6. **Bapak Izom Mudzakir, S.Si** sebagai PA serta seluruh dosen dan staf Fisika UI yang telah memberi ilmu yang bermanfaat selama penulis menjadi mahasiswa Fisika UI.
7. **Ka Marlin, Ka Mumu, Ka Al, Ka Sutarto, Mas Rohmadi, Mas Yanto,** serta **Keluarga besar PT. Edwar Technology** yang telah banyak

membantu penulis dan juga **Ka Ninik** yang selalu memberi semangat kepada penulis.

8. Sahabat-sahabatku tersayang **Ica, Heni, Lia, Puspita, Intan, dan Dedew**, yang selalu memberi semangat dan motivasi tiada henti. Terima kasih atas kesediaan waktunya mendengarkan curhat dan juga keluh kesah penulis.
9. Teman-teman di Edwar Technology **Ica, Puspita, Habib, dan Rhyan** yang telah berjuang bersama dalam suka dan duka serta banyak membantu penulis selama menyusun skripsi.
10. Teman-teman seperjuangan **Atul, Ricky, Faisal, Dika** yang selalu memberi semangat dan dorongan kepada penulis.
11. Sahabat-sahabat Fisika Medis 2006 **Ica, Intan, Puspita, Vivi, Anggita, Lisday, Emi, Lisrin, Ricky, Fauzi, Imam, Syahrul, Agus, Dika, Habib** untuk semua kenangan dan kebersamaan yang kita lewati bersama-sama.
12. Sahabat-sahabat tercinta **Fisika 2006** atas pelajaran berharga dan juga kebersamaan yang tak terlupakan.
13. **Keluarga besar Perhimak** khususnya **Perhimak 2006** yang telah mengajarkan penulis indahnya kebersamaan, perjuangan dan berbagi.
14. **Yayasan Karya Salemba 4** atas kepercayaan yang diberikan kepada penulis untuk menerima beasiswa selama tiga tahun berturut-turut.
15. Semua pihak yang ikut membantu dalam penyelesaian skripsi ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Penulis hanya dapat berdoa semoga semua kebaikan yang telah diberikan kepada penulis mendapat pahala berlipat dari Allah SWT. Penulis menyadari keterbatasan dan juga kemampuan yang dimiliki penulis dalam menyusun skripsi ini, maka dari itu penulis sangat mengharapkan saran dan juga kritik yang membangun untuk meningkatkan pengetahuan. Semoga skripsi ini bermanfaat dan dapat membantu perkembangan ilmu pengetahuan dalam bidang terapi. Amin

Depok, Juni 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mursilatun
NPM : 0606068493
Program Studi : S1 Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**PENGARUH MEDAN LISTRIK TERHADAP PERTUMBUHAN
SEL KANKER**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juni 2010

Yang menyatakan

(Mursilatun)

Nama : Mursilatun
Program Studi : S1 Fisika
Judul : Pengaruh Medan Listrik Terhadap Pertumbuhan Sel Kanker

ABSTRAK

Pengaruh medan listrik terhadap sel kanker ada dua macam yaitu menghambat pertumbuhan tumor dan menghancurkan sel kanker yang sedang mengalami pembelahan. Penelitian ini menggunakan Capacitif Elektroterapi dengan frekuensi 100 KHz dari sumber arus listrik bolak-balik dengan tegangan -8.5 V sampai +8.5 V. Pemberian medan listrik dilakukan secara *in vitro* selama 72 jam berturut-turut terhadap sel kanker payudara MCF-7 dan sel normal *Fibroblast Vero*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa medan listrik mampu menghambat pertumbuhan sel kanker MCF-7 dan medan listrik ini terbukti tidak menimbulkan efek yang berbahaya bagi sel-sel normal.

Kata kunci:

Elektro terapi, frekuensi, kanker, medan listrik, proliferasi.

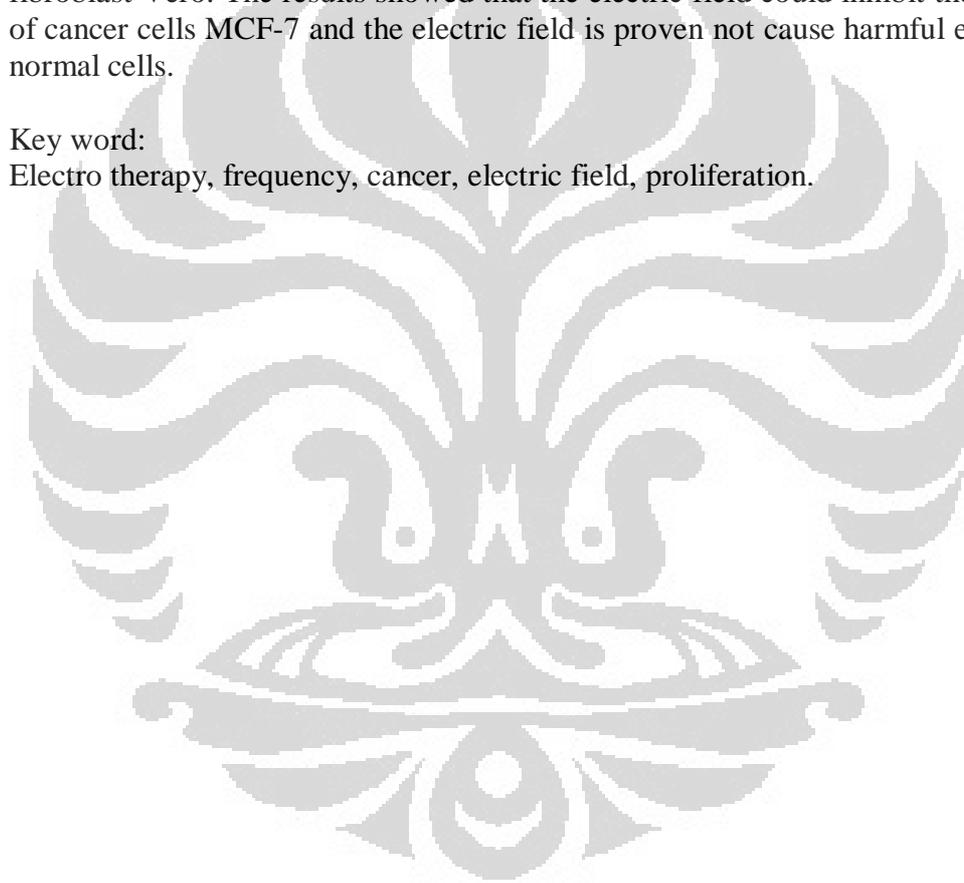
Name : Mursilatun
Program Study : Bachelor Degree of Physics
Title : Electric Field Effect on Growth of Cancer Cells

ABSTRACT

There are two types effect of electric field towards cancer cells, that is inhibiting tumor growth and destroy cancer cells undergoing division. This research uses Electrotherapy Capacitive with 100 KHz frequency of the source of alternating electrical current with voltage -8.5 V to +8.5 V. Electric field was tested in vitro for 72 hours in a row against breast cancer MCF-7 cell line and normal cells fibroblast Vero. The results showed that the electric field could inhibit the growth of cancer cells MCF-7 and the electric field is proven not cause harmful effects to normal cells.

Key word:

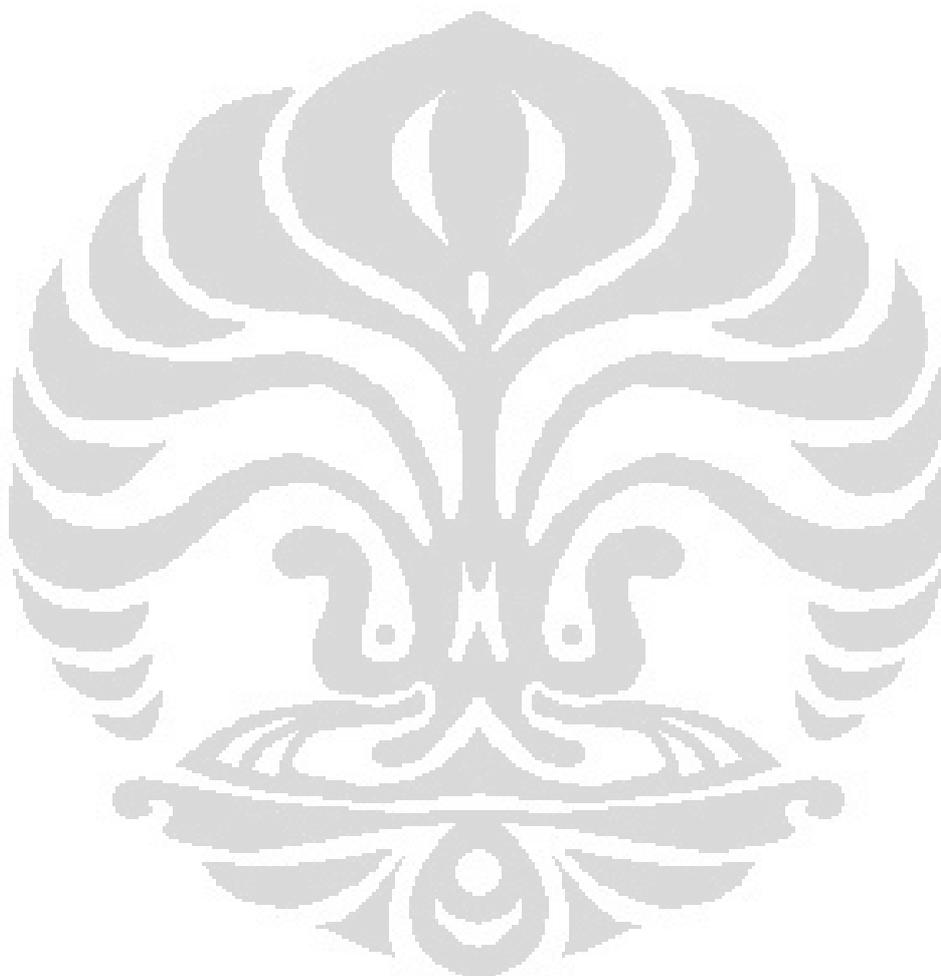
Electro therapy, frequency, cancer, electric field, proliferation.



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metode Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II. LANDASAN TEORI	
2.1 Sel	5
2.2 Siklus Sel Manusia	7
2.3 Kanker	10
2.3.1 Proses Perubahan Sel Normal Menjadi Sel Kanker.....	11
2.3.2 Karakteristik Sel Kanker	13
2.4 Kanker Payudara	16
2.4.1 Anatomi Payudara Normal.....	16
2.4.2 Permittivitas dan Konduktivitas Listrik Jaringan Payudara.....	17
2.4.3 Sel Kanker Payudara MCF-7.....	17
2.5 Arus Bolak-balik/Alternating Current.....	18
2.6 Medan Listrik dalam Tubuh Manusia	19
2.7 Pengaruh Medan Listrik Terhadap Jaringan Tubuh.....	20
2.8 Pengaruh Medan Listrik Terhadap Sel Normal dan Sel Kanker.....	21
2.8.1 Medan Listrik Menghambat Proliferasi Sel	22
2.8.2 Medan Listrik Menghancurkan Sel yang Membelah.....	23
BAB III. METODE PENELITIAN	
3.1 Simulasi Distribusi Medan Listrik Pada Pembelahan Sel	25
3.2 Eksperimen	26
3.2.1 Peralatan dan Bahan.....	26
3.2.2 Metode Eksperimen	28
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Pengukuran Tegangan Frekuensi Output Kapasitif Elektro Terapi.....	33
4.2 Distribusi Medan Listrik dalam Pembelahan Sel.....	34

4.3 Pengaruh Medan Listrik terhadap Sel Kanker Payudara MCF-7	35
4.4 Pengaruh Medan Listrik terhadap Sel Normal Fibroblast Vero	39
4.5 Pembahasan	40
BAB V. PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	42
5.2 Saran.....	42
DAFTAR REFERENSI	43



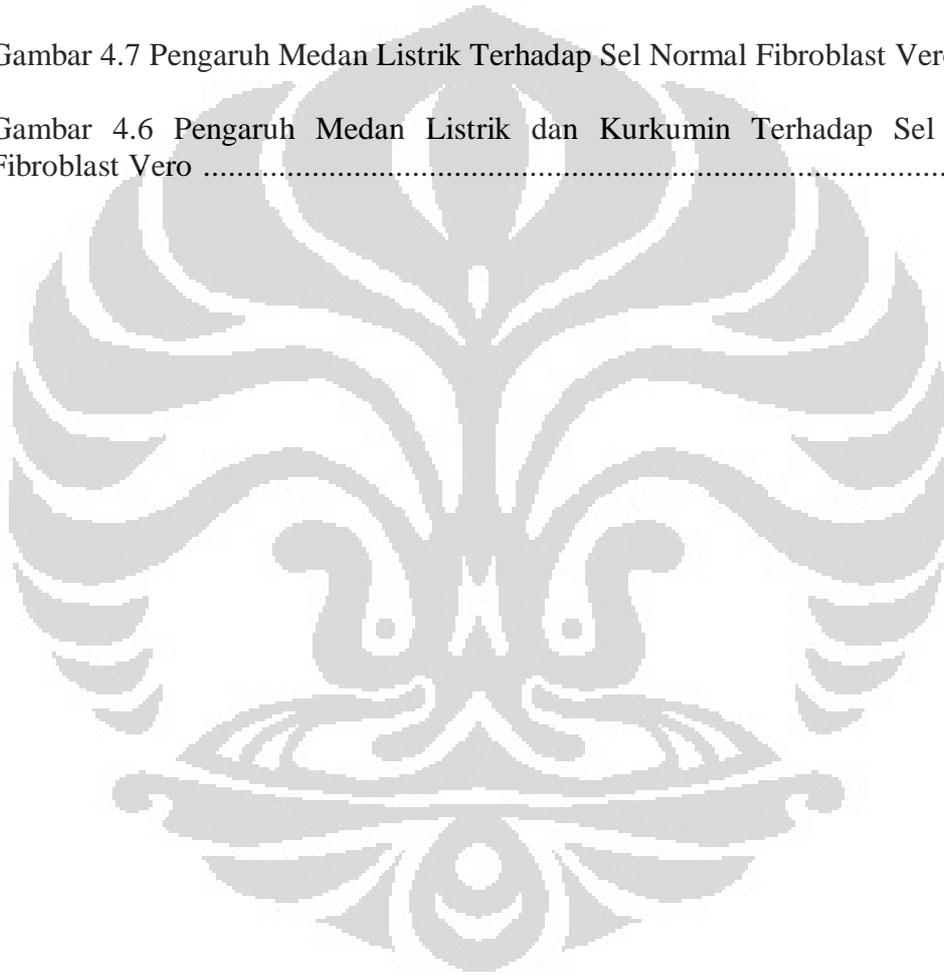
DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1 Perbedaan Sel Kanker dan Sel Normal	14
Tabel 2.2 Nilai Permittivitas dan Konduktivitas Listrik Suatu Material pada Frekuensi 4 GHz.....	14
Tabel 4.1 Jumlah Sel Kanker Payudara MCF-7 Setelah Diberi Medan Listrik Selama 72 jam	36
Tabel 4.2 Jumlah Sel Kanker Payudara MCF-7 tanpa Diberi Medan Listrik (Sel Kontrol)	36
Tabel 4.3 Jumlah Sel Kanker Payudara MCF-7 Ketika Diberi Medan Listrik dan Kurkumin	36
Tabel 4.4 Jumlah Sel Kanker Payudara MCF-7 Ketika Diberi Medan Listrik tanpa Kurkumin	37

DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 2.1 Struktur Sel Eukariotik	5
Gambar 2.2 Letak Sentriol Pada Saat Pembelahan Sel	6
Gambar 2.3 Struktur Mikrotubulus	7
Gambar 2.4 Siklus Sel pada Manusia	8
Gambar 2.5 Fase Pembelahan ,Mitosis	8
Gambar 2.6 Proses Perubahan Sel Normal Menjadi Sel Kanker	12
Gambar 2.7 Anatomi Payudara Normal.....	16
Gambar 2.8 Sel Baris MCF-7.....	18
Gambar 2.9 Sinyal Arus AC Periodik	18
Gambar 2.10 Elektron Bebas dalam Konduktor	19
Gambar 2.11 Medan Listrik Di dalam Konduktor	20
Gambar 2.12 Pengaruh Medan Listrik pada Sel yang Diam.....	22
Gambar 2.13 Pembelahan Sel Setelah Diberi Medan Listrik	23
Gambar 2.14 Pengaruh Medan Listrik Pada Saat Sel Sedang Membelah.....	23
Gambar 2.15 Tubulin Dimer Menarik Kromatid Menuju ke Kutub Pembelahan	24
Gambar 3.1 Skema Penelitian	25
Gambar 3.2 Model untuk Sel yang Sedang Membelah	26
Gambar 3.4 Susunan Alat Dalam Eksperimen.....	28
Gambar 3.5 Cara Menanam Sel Dalam Plate.....	29
Gambar 3.6 Pembagian Sel Dalam Plate dan Jadwal Pengamatan.	30
Gambar 4.1 Grafik Frekuensi Output 100 KHz 4 Chanel	33

Gambar 4.2 Grafik Tegangan Output 4 Chanel	34
Gambar 4.3 Distribusi Medan Listrik pada Saat Sel Sedang Membelah.....	35
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Antara Sel Treatment Medan Listrik dan Sel Kontrol	37
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Antara Sel Treatment Kurkumin dan Sel Kontrol	38
Gambar 4.6 Pengaruh Medan Listrik dan Kurkumin Terhadap Sel Kanker Payudara MCF-7	38
Gambar 4.7 Pengaruh Medan Listrik Terhadap Sel Normal Fibroblast Vero	39
Gambar 4.6 Pengaruh Medan Listrik dan Kurkumin Terhadap Sel Normal Fibroblast Vero	40



DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A	45
LAMPIRAN B	46



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kanker adalah salah satu penyebab utama kematian di negara berkembang. Pada tahun 2005, WHO dan Bank Dunia memperkirakan setiap tahun 12 juta orang di seluruh dunia menderita kanker dan 7,6 juta diantaranya meninggal dunia. Jika tidak dikendalikan, diperkirakan 26 juta orang akan menderita kanker dan 17 juta meninggal karena kanker pada tahun 2030. Ironisnya, kejadian ini akan terjadi lebih cepat di negara miskin dan berkembang (International Union Against Cancer /UICC, 2009). Di Indonesia yang merupakan salah satu negara berkembang, penyakit kanker juga menjadi salah satu masalah kesehatan yang cukup penting karena angka kejadian dan jumlah kematian akibat kanker terus meningkat setiap tahunnya. Kanker merupakan penyebab kematian nomor 7 (5,7%) setelah stroke, TB, hipertensi, cedera, perinatal, dan DM (Riskesmas, 2007).

Sampai saat ini metode yang paling umum digunakan untuk terapi kanker adalah dengan menggunakan radiasi, kemoterapi, maupun brakhiterapi. Terapi nonradioisotop seperti kemoterapi akan mengakibatkan efek negatif seperti mual-mual, lemas, gangguan pencernaan, dan rambut rontok (Noorwati, 2009). Terapi dengan menggunakan radiasi dan kemoterapi memerlukan biaya yang besar. Seiring dengan kebutuhan pasien yang semakin meningkat dalam menggunakan alat terapi kanker, maka dibutuhkan alat untuk terapi kanker tanpa menggunakan radiasi, efektif (berteknologi canggih dan akurat), efisien (daya produksi murah) sehingga terjangkau untuk semua kalangan. Berdasarkan pertimbangan tersebut, saat ini telah dikembangkan suatu alat untuk menghambat perkembangan sel kanker setelah diberi medan listrik. Alat ini disebut dengan Kapasitif Elektro Terapi.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh peneliti Israel, Yoram Palti. Yoram Palti beserta timnya berhasil membuktikan bahwa medan listrik dengan

frekuensi 100 KHz dapat digunakan untuk menghambat proliferasi sel kanker dan menghancurkan sel kanker yang sedang mengalami pembelahan (Palti et. al, 2004) dengan menggunakan *tumor treating fields* (TTFields).

Kapasitif Elektro Terapi merupakan suatu alat yang dapat menghasilkan medan listrik sehingga dapat digunakan untuk pengobatan kanker. Kapasitif Elektro Terapi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan sumber arus listrik bolak-balik/*Alternating Current* (AC) dengan tegangan -8.5 V sampai +8.5 V, yang akan dihubungkan dengan *culture dish*, suatu medium tempat sel kanker dan sel normal ditumbuhkan. Penggunaan medan listrik terhadap sel kanker akan mengganggu aktivitas sel kanker sehingga dapat digunakan untuk treatment kanker. Kapasitif Elektro Terapi merupakan alat sangat sederhana, murah, dan mudah dibuat. Selain itu, alat ini juga tidak memiliki efek biologis terhadap tubuh dan jaringan normal di sekitar kanker karena frekuensi yang digunakan adalah frekuensi menengah.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas maka dalam penelitian Tugas Akhir ini pokok-pokok permasalahannya adalah apakah medan listrik dapat mempengaruhi pertumbuhan sel kanker payudara MCF-7. Permasalahan ini diangkat untuk memperluas aplikasi medan listrik terutama dalam bidang kesehatan. Penelitian ini merupakan hal yang baru karena menggunakan medan listrik untuk mengetahui pertumbuhan sel kanker.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mempelajari pengaruh medan listrik terhadap pertumbuhan sel kanker payudara MCF-7 dan sel normal *Fibroblast Vero*.
2. Mensimulasikan distribusi medan listrik pada sel yang sedang membelah.

1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, masalah yang diteliti dibatasi sesuai dengan judul yang diajukan yaitu “Pengaruh Medan Listrik Terhadap Pertumbuhan Sel Kanker”. Penelitian ini difokuskan pada pengamatan pertumbuhan sel kanker payudara MCF-7 dan sel normal *Fibroblast Vero*. Sel kanker payudara MCF-7 dan sel normal *Fibroblast Vero* yang telah ditumbuhkan, diberi medan listrik dengan frekuensi 100 KHz selama 72 jam. Alat yang akan digunakan pada eksperimen adalah Kapasitif Elektro Terapi menggunakan sumber listrik AC dengan tegangan -8.5 V sampai +8.5 V, yang dihubungkan dengan *culture dish* melalui sebuah kabel *coaxial*.

1.5 Metode Penelitian

Metode penelitian terdiri dari beberapa tahap antara lain:

a. Studi Kepustakaan

Pada tahap ini, penulis mencari dan juga mempelajari tentang sel, medan listrik beserta hubungannya dengan pertumbuhan sel kanker. Informasi ini dapat diperoleh dari berbagai literatur baik buku, internet, penjelasan dari dosen pembimbing dan juga diskusi dengan mahasiswa lain.

b. Simulasi

Simulasi dilakukan untuk melihat distribusi medan listrik pada sel yang sedang membelah dengan menggunakan program COMSOL Multiphysics 3.4

c. Eksperimen

Pengambilan data dilakukan dengan mengamati perkembangan sel kanker payudara MCF-7 dan sel normal *Fibroblast Vero* setelah diberi medan listrik selama 72 jam.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika pada penulisan ini dibagi menjadi 5 bab, yang masing-masing terdiri dari beberapa sub-bab untuk mempermudah penjelasan. Penulisan bab-bab dilakukan sebagai berikut :

BAB 1. PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi tentang penjelasan secara umum latar belakang permasalahan, perumusan masalah, pembatasan masalah, tujuan penelitian, dan sistematika.

BAB II. LANDASAN TEORI

Pada bab ini dijelaskan tentang siklus sel dalam tubuh manusia dan juga penjelasan tentang karakteristik sel kanker serta pengaruh medan listrik terhadap sel kanker. Selain itu, penulis juga menguraikan teori-teori dasar yang digunakan pada penulisan skripsi ini.

BAB III. METODE PENELITIAN

Bab ini berisi penjelasan alat-alat yang digunakan dalam penelitian dan juga metode yang dilakukan untuk memperoleh data.

BAB IV. HASIL DAN DISKUSI

Data eksperimen yang telah diperoleh pada saat eksperimen diolah, kemudian dianalisis dan dibahas.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

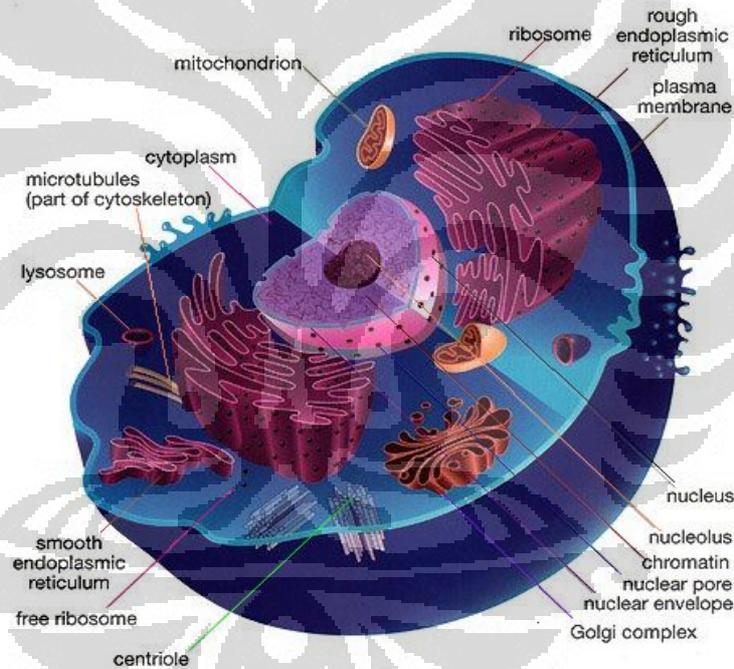
Setelah melakukan pembahasan dan analisis maka pada bab ini penulis menarik kesimpulan terhadap modul yang telah dibuat, ditambahkan saran-saran yang berguna untuk pengembangan lebih lanjut.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Sel

Tubuh manusia tersusun dari jutaan sel yang memiliki fungsi spesifik dan teratur. Sel merupakan unit organisasi terkecil yang menjadi dasar suatu kehidupan (Wikipedia, 2010). Semua fungsi kehidupan diatur dan berlangsung di dalam sel. Sel yang menyusun tubuh manusia adalah sel eukariotik yaitu sel yang memiliki membran inti dan memiliki organel-organel sel. Sel eukariotik terdiri atas tiga bagian utama, yaitu membran plasma, sitoplasma, dan inti sel atau nukleus. Gambar 2.1 menunjukkan struktur sel yang terdapat pada sel eukariotik.

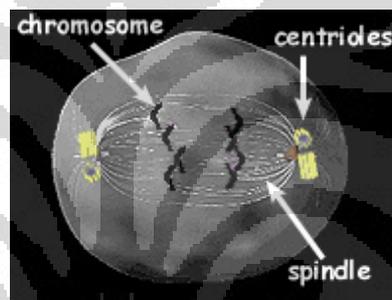


Gambar 2.1 Struktur sel eukariotik

Sitoplasma merupakan cairan yang terdapat di dalam sel (Tobing, 2010). Cairan ini disebut dengan sitosol. Hampir semua kegiatan metabolisme berlangsung di dalam sitoplasma. Organel-organel yang terdapat dalam sitoplasma antara lain: retikulum endoplasma, ribosom, badan golgi, lisosom, mitokondria, sentriol, dan sitoskeleton.

a. Sentriol

Salah satu organel yang berperan penting untuk pembelahan sel adalah sentriol. Sentriol merupakan perkembangan dari sentrosom, yaitu pusat sel, daerah dari sitoplasma yang dekat dengan nukleus. Sentriol berupa kumpulan mikrotubulus, strukturnya berbentuk bintang yang berperan sebagai kutub-kutub pembelahan sel secara mitosis atau meiosis. Struktur ini hanya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop elektron. Dari sentriol memancar benang-benang gelendong pembelahan sehingga kromosom akan terjerat pada benang tersebut. Melalui benang-benang gelendong inilah tiap-tiap kromosom berjalan menuju kutub masing-masing.



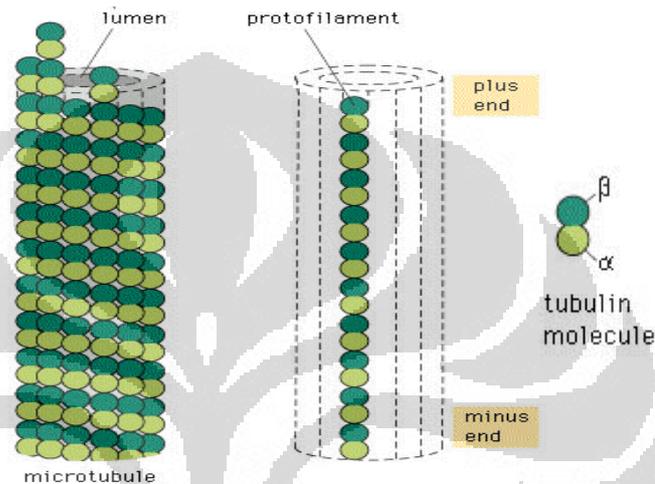
Gambar 2.2 Letak sentriol pada saat pembelahan sel

b. Mikrotubulus

Mikrotubulus adalah salah satu bagian dasar dari sitoskeleton, yang tersusun dari berbagai mikrotubulin dan merupakan serabut penyusun sitoskeleton terbesar yang terdapat di sepanjang sel saraf. Mikrotubulus merupakan rantai protein yang berbentuk spiral, spiral ini membentuk tabung berlubang. Mikrotubulus berbentuk lurus, batangnya berongga, diameter 25 nm dan panjangnya mulai dari 200 nm sampai 25 μ m. Fungsi mikrotubulus adalah untuk mempertahankan bentuk sel dan sebagai rangka sel. Selain itu mikrotubulus berguna dalam pembentukan sentriol, flagel dan silia serta membantu pembelahan sel secara mitosis.

Ciri-ciri penting dari struktur mikrotubulus adalah polaritas. Mikrotubulus adalah polimer dari dimers tubulin α dan β (Gambar 2.3).

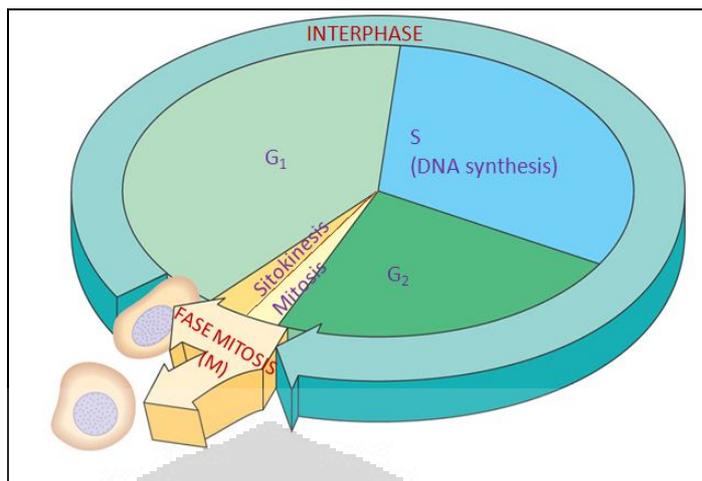
Fungsi tubulin adalah menarik kromatid menuju kutub pembelahan. Tubulin berpolimerasi dan selalu berakhir dengan sub-kesatuan α suatu tubulin dimers menghubungkan sub-kesatuan β yang berikutnya. Oleh karena itu, di dalam protofilaments pada satu bagian akhir akan mempunyai sub-kesatuan β terbuka. Protofilaments lalu mengumpul dikawat pijar silindris yang berongga.



Gambar 2.3 Struktur mikrotubulus

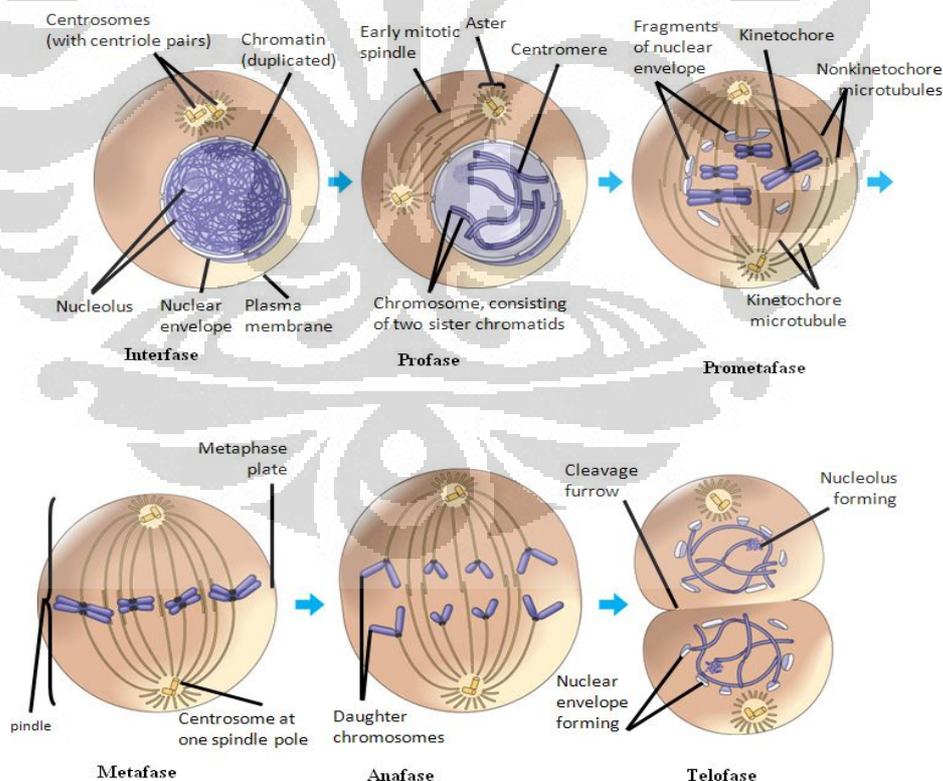
2.2 Siklus Sel Manusia

Selama hidup, sel-sel dalam tubuh manusia mengalami regenerasi dan juga kematian. Setiap sel akan membelah kurang lebih sebanyak 50 kali, kemudian mati. Sel-sel yang mati maupun yang sudah mengalami penuaan harus diganti sehingga dapat berfungsi secara optimal. Maka dari itu, di dalam sel terdapat suatu siklus sel yaitu rangkaian peristiwa yang menyebabkan terjadinya pembelahan dan replikasi sel tersebut. Siklus sel yang dialami manusia terdiri dari 2 fase yaitu fase intertase dan fase pembelahan sel/mitosis. Interfase terdiri dari beberapa tahap yaitu fase sintesis (S) dan fase Gap/Grow (G1 & G2). Fase pembelahan sel/mitosis (M) adalah proses di mana sel membelah dan menghasilkan dua sel anakan yang identik dan diploid (2n).



Gambar 2.4 Siklus sel pada manusia (Sumber: Campbell et al. 1999)

Fase pembelahan/mitosis ini terdiri dari kariokinesis dan sitokinesis. Ada lima macam fase dalam kariokinesis yaitu profase, prometafase, metafase, anafase, dan telofase. Gambar 2.5 menunjukkan tahapan pada fase pembelahan mitosis.



Gambar 2.5 Fase pembelahan mitosis

a. Profase

Kromatin di dalam nukleus mulai terkondensasi dan terlihat sebagai kromosom. Nukleus menghilang, sentrosom mulai bergerak ke ujung nukleus dengan arah yang berlawanan. Benang mikrotubulus mulai memanjang pada sentromer untuk membentuk benang mitosis (*mitotic spindle*)

b. Prometafase

Prometafase merupakan profase akhir atau yang dimulai dengan penghancuran membran inti menjadi vesikel-vesikel membran kecil (seperti RE). Selama fase ini. Kromosom terus berkondensasi dan berangsur-angsur memendek dan menebal sampai siap untuk bermitosis. Kinetokore dari mikrotubule mulai terlihat dan menempel pada mikrotubul polar, kromosom mulai bergerak.

c. Metafase

Mikrotubul meluas menuju setiap ujung yang berlawanan dan membentuk *spindle pole* atau *mitotic centre*. Setiap spindle pole ini mengandung sepasang sentriol. Benang mitosis memosisikan kromosom berjajar pada bagian tengah sel (keping metafase). Hal ini untuk memastikan bahwa setiap sel anakan menerima satu salinan kromosom.

d. Anafase

Kromatid anakan menuju ke kutub. Mikrotubul mulai melekat pada sentromer. Tahap anafase terbagi menjadi dua proses yaitu anafase awal dan anafase akhir. Pada anafase awal, pasangan kromosom pada keping metafase terpisah dan kromatid bergerak menuju spindle pole pada sisi sel yang berlawanan karena terjadi pemendekan kinetokore mikrotubul. Pada tahap anafase akhir, saat kromosom bermigrasi ke spindle pole, kinetokore mikrotubul mulai menghilang sementara mikrotubul polar terus memanjang.

e. Telofase

Membran inti mulai terbentuk kembali di sekeliling kromosom. Nukleus muncul dan kromosom mulai menghilang. Saat telofase

selesai, dan membran sel baru mulai terbentuk, pembentukan nukleus sudah hampir selesai. Langkah akhir telofase melibatkan inisiasi pembelahan membran plasma pada setiap sel anakan untuk membentuk dua sel yang terpisah pada fase pembelahan sel berikutnya atau yang dikenal dengan sitokinesis.

2.3 Kanker

Kanker adalah penyakit ketidakstabilan genetik yang mengubah perilaku selular. Perubahan ini menyebabkan rusaknya proliferasi sel, dan akhirnya meng-*invasi* dan metastasis. Perubahan molekul genetik sel kanker menyebabkan sel menjadi kurang peka terhadap pos pemeriksaan yang mengontrol siklus sel dan menghindari apoptosis. Berbeda dengan sel kanker, sel-sel normal memiliki kemampuan untuk menyampaikan informasi untuk diri mereka sendiri dan antara sel-sel lain. Informasi ini bermanfaat untuk mengatur dan mengintegrasikan fungsi-fungsi sel dan pertumbuhan sel. Ketika kanker muncul, sel-sel pada kanker ini tidak lagi diatur oleh mekanisme kontrol seperti sel normal.

Ketika cedera terjadi di dalam tubuh sel-sel normal melakukan proliferasi dan mengganti sel-sel yang hancur dan rusak dengan sel-sel baru. Salah satu ciri khas proliferasi dan sel-sel kanker adalah kedua sel ini memiliki potensial membran sel yang lebih rendah dari potensial membran sel dari sel dewasa yang sehat (Cone, 1975). Setelah selesai perbaikan, sel-sel normal di daerah cedera berhenti tumbuh dan potensial membran mereka kembali normal.

Dalam jaringan kanker, potensial listrik membran sel dijaga pada tingkat yang lebih rendah daripada sel-sel sehat. Sel-sel kanker juga memiliki sifat lain yang berbeda dari proliferasi sel yang normal. Sel-sel normal terorganisasi dengan baik dalam pertumbuhan mereka, bentuk kontak inhibisi dan berhenti tumbuh ketika mereka memperbaiki area cedera atau akibat kontak inhibisi dengan sel lain. Sel-sel kanker lebih mudah terpisah dan tidak menunjukkan kontak penghambatan pertumbuhan mereka.

2.3.1 Proses Perubahan Sel Normal Menjadi Sel Kanker

Kanker diawali dari proses mutasi DNA, regulasi pertumbuhan sel-sel normal yang terganggu sehingga terjadi proliferasi (pembelahan) sel yang tidak terkendali dan apoptosis (program kematian sel) menurun secara signifikan. Kanker diakibatkan oleh mutasi pada sel somatik tunggal yang tidak menghiraukan proliferasi secara normal, menyerang jaringan normal yang berdekatan dan menimbulkan tumor sekunder (metastasis) pada tempat yang berbeda dari sel tumor primer. Meskipun ada bermacam-macam jenis kanker, namun pada intinya kanker merupakan pembelahan sel yang tak teratur dan penekanan kematian sel diperlukan untuk pertumbuhan tumor.

Perubahan kode genetik sel normal merupakan dasar dari perkembangan penyakit kanker. Perubahan kode genetik ini berhubungan dengan gen-gen tertentu seperti gen pengatur pertumbuhan, gen penghambat pertumbuhan, dan gen untuk perbaikan DNA. Akibat perubahan ini semua, ekspresi gen menjadi berlebihan dan mengakibatkan pertumbuhan sel yang tidak terkendali, hal inilah yang merupakan sifat dasar sel kanker.

Sel kanker itu timbul dari sel normal tubuh kita sendiri yang mengalami transformasi menjadi ganas, karena adanya mutasi spontan atau induksi karsinogen. Bila suatu sel normal gennya telah mengalami kerusakan karena suatu karsinogen, kemudian tidak dapat diperbaiki oleh gen perbaikan dan menjadi cacat gen yang permanen, maka disinilah dimulai timbulnya penyakit kanker.

Fase pertumbuhan kanker dibedakan menjadi beberapa fase.

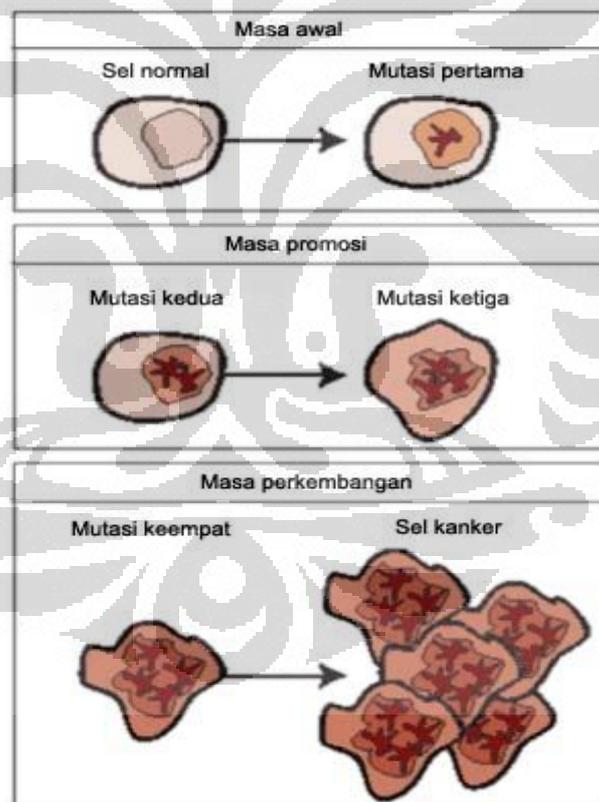
❑ Fase Pertama/ Fase Induksi

Pada fase induksi belum timbul kanker tetapi sudah ada perubahan sel. Fase ini terdiri dari fase inisiasi, promosi, dan progresi. Inisiasi merupakan fase pertama dimulai pada saat kontak pertama dengan karsinogen, di mana karsinogen mengakibatkan kerusakan atau lesi DNA yang bersifat permanen. Fase promosi, terjadi proses sel-sel yang mengalami inisiasi berubah menjadi sel-sel preneoplasma/prekanker, biasanya berlangsung

lama (periode laten). Fase progresi adalah fase di mana terjadi evolusi sel preneoplasma menjadi sel neoplasma atau kanker.

❑ Fase Kedua

Pertumbuhan kanker selanjutnya dibedakan menjadi dua fase, yaitu fase kanker *in situ* dan kanker invasif. Pada fase kanker *in situ* atau kanker non invasif, sudah mulai timbul sel kanker, tetapi pertumbuhannya masih terbatas pada jaringan tempat asalnya tumbuh, yaitu dalam epitel (intraepitel), dalam saluran atau duktus (intraductal), atau dalam suatu bagian terkecil kelenjar (intra lobuler). Pada fase kanker invasif atau fase infiltratif, sel kanker telah tumbuh menembus membran basal, masuk ke jaringan atau organ sekitarnya yang berdekatan. Kanker invasif terdiri dari fase pertumbuhan lokal dan fase metastasis.



Gambar 2.6 Proses perubahan sel normal menjadi sel kanker (Sumber: copyright@ www.medicastore.com 2006)

Pada fase metastasis atau penyebaran, sel-sel kanker sudah menyebar ke organ lain yang letaknya jauh dari tumor itu pertama kali tumbuh, yaitu menyebar ke kelenjar getah bening regional dan atau

menyebarkan ke organ-organ jauh melalui pembuluh darah ke paru, liver, tulang, otak, ginjal, kulit. Selain itu metastasis juga menyebabkan gangguan fungsi organ yang bersangkutan. Penyebaran ke organ vital seperti otak, paru, liver umumnya akan mempercepat penderita meninggal dunia.

2.3.2 Karakteristik Sel Kanker

Meskipun setiap sel kanker berbeda, ada beberapa sifat tertentu yang mencirikan semua karakteristik sel kanker: (Pecorino, 2005)

a. Pertumbuhan yang tidak terkontrol (*Uncronrolled growth*)

Sel normal tumbuh dan membelah ketika mereka mendapat pesan dari sel sekitarnya bahwa mereka sudah saatnya untuk melakukan pembelahan. Sel kanker, di sisi lain mereka dapat meningkatkan pertumbuhan mereka sendiri sehingga mereka dapat membelah dan membuat *copian* baru tanpa terpengaruh oleh sel-sel yang berada di sekitar mereka.

b. Kurangnya respon untuk menghentikan sinyal (*Lack of response to stop signals*)

Sebuah sel normal akan berhenti membelah ketika salah satu dari dua hal terjadi yaitu: menerima sinyal dari tetangga terdekat mereka bahwa sudah cukup penuh, atau mesin selularnya rusak. Biasanya sel normal akan segera memperbaiki kerusakan. Akan tetapi, sel-sel kanker tidak memperbaiki kerusakan ini, mereka justru melakukan proliferasi terus menerus dan membuat *copian* baru dari sel dengan DNA yang rusak.

c. Keabadian (*immortality*)

Hampir semua sel dalam tubuh manusia diprogram untuk menghentikan fungsinya atau bunuh diri ketika mesin selular rusak, terinfeksi oleh virus, terlalu banyak sel, atau ketika fungsi selnya mulai roboh. Penuaan sel memungkinkan sel untuk berhenti membelah atau mengalami suatu urutan peristiwa yang disebut dengan program

kematian sel (*apoptosis*). Sel kanker mengabaikan sinyal penghentian ini sehingga mampu memperbanyak jumlah mereka.

- d. Kemampuan untuk membelah tak terhingga (*Ability to divide indefinitely*)

Sel yang sehat secepatnya berhenti membelah dan pertumbuhan mereka dihentikan oleh instruksi dari DNA yang diprogram untuk menoleransi jumlah replikasi tertentu, dan mengirim sinyal berhenti ketika mencapai batas. Sel kanker cenderung untuk menghindari sinyal-sinyal ini. Akibatnya mereka terus melakukan replikasi menghasilkan sel baru yang *miscopied* atau mutasi rantai DNA.

- e. Mampu membuat pembuluh darah baru (*Angiogenesis*)

Semua sel mendapatkan makanan dari oksigen dan nutrisi dalam darah. Biasanya sistem tubuh dengan hati-hati mengatur pertumbuhan pembuluh darah baru, suatu proses yang disebut *angiogenesis*. Sel kanker biasanya melewati sistem ini sehingga mengakibatkan pembuluh darah baru tumbuh dalam tumor. Pembentukan pembuluh darah baru ini merupakan suatu tanda sebuah jaringan *pre-cancer* melewati batas dan berkembang menjadi kanker sebenarnya.

- f. Migrasi Acak (*Random migration*)

Dalam jaringan sehat, sel-sel tetap tinggal di tempat mereka, sesuai dengan struktur yang mencirikan jaringan dan membantu dalam fungsinya. Sel-sel kanker yang telah matang dapat melepaskan ikatan molekul ini dan pindah ke bagian lain dari tubuh. Perpindahan sel ini disebut metastasis, salah satu karakteristik yang menyebabkan keganasan dan menyebabkan kematian.

Berdasarkan karakteristik di atas, perbedaan antara sel kanker dan sel normal dapat dijelaskan dengan tabel berikut.

Tabel 2.1 Perbedaan sel kanker dan sel normal

Parameter	Sel Normal	Sel Kanker
Kontak	Memiliki kontak inhibisi	Tidak memiliki kontak inhibisi

inhibisi	yang kuat	
Sinyal eksternal	Memerlukan sinyal eksternal untuk tumbuh dan membelah	Tidak memerlukan sinyal eksternal untuk tumbuh dan membelah
Apoptosis	Peka terhadap apoptosis dan merespon sinyal penghambatan pertumbuhan	Tidak peka terhadap sinyal apoptosis dan tidak mengenal dan merespon sinyal penghambat pertumbuhan
Kemampuan membelah	Mampu menghentikan pembelahan selnya bila sudah mencapai jumlah tertentu dan mencapai pematangan	Memiliki mekanisme tertentu untuk tetap menjaga telomere tetap panjang, hingga memungkinkan untuk tetap membelah diri.
Suplai oksigen	Tergantung suplai oksigen dari pembuluh darah	Mampu menginduksi angiogenesis
Kemampuan metastasis	Memiliki kepatuhan untuk tidak berpindah ke lokasi lain di dalam tubuh	Dapat bermetastasis

Pada percobaan *in vitro*, perbedaan karakter antara sel normal dan kanker adalah sebagai berikut :

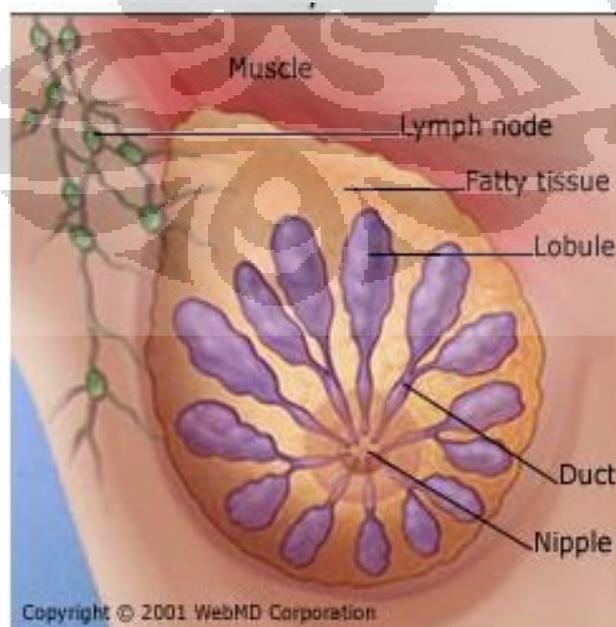
- Sel normal akan tumbuh sebagai selapis sel (*monolayer*) jika dibiarkan dalam *petri dish*, semua ini karena adanya kepekaan terhadap kontak inhibisi dengan sel-sel tetangganya (bila sel normal sudah menyentuh sel tetangganya maka pertumbuhannya akan berhenti).
- Sel kanker memiliki sifat sebagai berikut :
 - Tumbuh terus tanpa mengenal sinyal kontak inhibisi, tumbuh menumpuk ke atas bukan sebagai *monolayer*.
 - Dapat tumbuh dalam kondisi serum minim (serum/FBS (*fetal bovine serum*)) berisi banyak *Growth factor*, sel kanker mampu memenuhi kebutuhan *Growth factors* sendiri.
 - Morfologi sel kanker lebih membulat dengan inti yang relatif lebih besar (karena aktif membelah).

2.4 Kanker Payudara

2.4.1 Anatomi Payudara Normal

Payudara tersusun dari jaringan lemak yang mengandung kelenjar-kelenjar yang bertanggung jawab terhadap produksi susu pada saat hamil dan setelah bersalin. Setiap payudara terdiri dari sekitar 15-25 lobus berkelompok yang disebut lobulus, kelenjar susu, dan sebuah bentukan seperti kantung-kantung yang menampung air susu (alveoli). Saluran untuk mengalirkan air susu ke puting susu disebut duktus. Sekitar 15-20 saluran akan menuju bagian gelap yang melingkar di sekitar puting susu (areola) membentuk bagian yang menyimpan air susu (ampullae) sebelum keluar ke permukaan. Payudara akan menutupi sebagian besar dinding dada. Payudara dibatasi oleh tulang selangka (klavikula) dan tulang dada (sternum). Jaringan payudara bisa mencapai ke daerah ketiak dan otot yang berada pada punggung bawah sampai lengan atas (*latissimus dorsi*).

Kelenjar getah bening pada payudara terdiri dari sel darah putih yang berguna untuk melawan penyakit. Kelenjar getah bening didrainase oleh jaringan payudara melalui saluran limfe dan menuju nodul-nodul kelenjar di sekitar payudara samapi ke ketiak dan tulang selangka. Nodul limfe berperan penting pada penyebaran kanker payudara terutama nodul kelenjar di daerah ketiak.



Gambar 2.7 Anatomi payudara normal (Copyright @ 2001 WebMD Corporation)

2.4.2 Permittivitas dan Konduktivitas Listrik Jaringan Payudara

Setiap jaringan memiliki permitivitas dan konduktivitas listrik yang berbeda-beda tergantung dari komponen penyusunnya. Permittivitas listrik menunjukkan konstanta dielektrik suatu jaringan. Jaringan payudara tersusun atas lemak dan granular. Sebagian besar jaringan payudara tersusun atas lemak. Lemak memiliki nilai permitivitas yang lebih kecil apabila dibandingkan dengan material lainnya. Sedangkan sel kanker memiliki nilai permitivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan komponen penyusun lainnya. Besarnya nilai permitivitas berbeda-beda untuk rentang frekuensi yang berbeda. Nilai konduktivitas menunjukkan kemampuan suatu bahan untuk menghantarkan arus listrik. Tabel 2.2 menunjukkan nilai permitivitas dan konduktivitas listrik suatu material pada frekuensi 4 GHz.

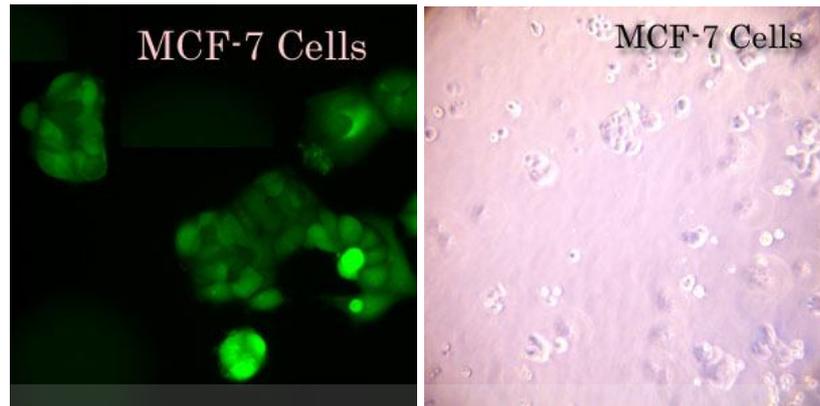
Tabel 2.2 Nilai permitivitas dan konduktivitas listrik suatu material pada frekuensi 4 GHz (Hagl et. al., 2003)

Material	Permittivitas	Konduktivitas
Lemak	4.2	0.16
Tumor	43.7	6.94
Kulit	34.3	4.25

2.4.3 Sel Kanker Payudara MCF-7

❑ Sumber dari MCF-7 Cell line

Sel MCF-7 merupakan salah satu model sel kanker payudara yang banyak digunakan dalam penelitian. MCF-7 adalah *line cell* yang pertama kali diisolasi pada tahun 1970. Sel tersebut diambil dari jaringan payudara seorang wanita Kaukasian berumur 69 tahun golongan darah O, dengan Rh positif.



Gambar 2.8 Sel Baris MCF-7 (Copyright from altogen.com)

❑ Penggunaan MCF-7

Sel MCF-7 digunakan untuk studi *in vitro* kanker payudara karena sel baris ini mempunyai beberapa karakteristik ideal dengan jaringan epitel payudara. Sel ini juga dapat memproses estrogen dalam bentuk estradiol. Mampu membentuk domes dan epitel seperti sel yang tumbuh monolayer.

2.5 Arus Bolak-balik/Alternating Current (AC)

Sumber arus AC energi listriknya berubah secara konstan dalam amplitudo dan perubahan kutub secara teratur. Perubahan ini berlangsung secara lancar dan teratur, perulangan terus menerus dalam rangkaian dalam siklus yang sama dan bentuk gelombang sinus (Gambar 2.9).



Gambar 2.9 Sinyal arus AC periodik

Arus AC memiliki sifat-sifat tertentu yang berhubungan dengan bentuk gelombang seperti frekuensi, periode, panjang gelombang dan amplitude. Untuk terapi menggunakan medan listrik, besar kecilnya frekuensi akan memiliki efek yang berbeda terhadap jaringan tubuh. Medan listrik dapat membawa informasi melalui frekuensi dan fluktuasi amplitude (Haltiwanger). Frekuensi dari arus AC

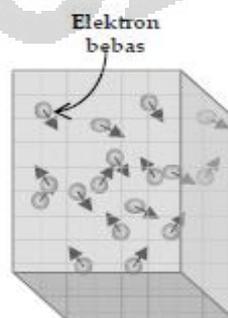
adalah banyaknya tahap listrik bolak-balik yang terjadi selama 1 detik. Listrik AC dalam eksperimen ini adalah 100 KHz, hal ini menyatakan bahwa listrik AC ini bergerak bolak-balik sebanyak 100.000 kali selama 1 detik.

2.6 Medan Listrik dalam Tubuh Manusia

Medan listrik merupakan daerah atau ruang di sekitar benda yang bermuatan listrik dan jika sebuah benda bermuatan lainnya diletakkan pada daerah itu masih mengalami gaya elektrostatik. Karakteristik dasar dari medan listrik adalah bahwa medan listrik pada setiap titik dalam suatu ruang, memiliki orientasi tertentu yang bergantung pada arah gaya mendesak muatan dan elemen polar. Gaya yang diberikan oleh medan akan maksimal ketika dipole berorientasi ke arah medan.

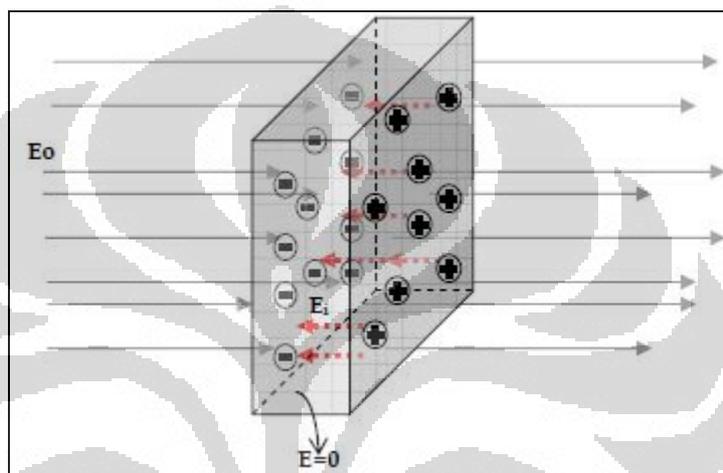
Tubuh manusia sebagian besar tersusun atas hidrogen yang dapat terpengaruh oleh medan listrik. Medan listrik dapat berinteraksi dengan molekul bermuatan atau tidak bermuatan atau struktur-struktur seluler di dalam sistem hidup. Akibat adanya daya interaksi ini dapat menyebabkan pergerakan dari partikel-partikel bermuatan, mengarahkan atau mengubah bentuk struktur-struktur seluler,

Sel-sel dalam tubuh manusia mengandung dipol-dipol listrik sehingga bersifat seperti sebuah konduktor. Medium konduktor memiliki kekhususan tersendiri ketika dipengaruhi medan listrik. Sebagaimana kita ketahui bahwa dalam konduktor terdapat muatan-muatan (dalam hal ini elektron) yang tidak terikat pada atom dan dapat bergerak secara acak dan bebas.



Gambar 2.10 Elektron bebas dalam konduktor

Jika terdapat medan listrik dari luar perilaku elektron berubah dan bergerak hingga permukaan konduktor sedemikian sehingga medan listrik di dalam konduktor menjadi nol. Dalam konduktor Gambar 2.11 elektron dan muatan positif di dalamnya terpolarisasi (terpisah) pada kedua sisi konduktor sehingga menimbulkan medan listrik di dalam konduktor (E_i) yang awahnya berlawanan dengan medan listrik luar (E_o) sehingga jumlah medan listrik di dalam konduktor nol.



Gambar 2.11 Medan listrik di dalam konduktor adalah nol karena muatan bergerak ke tepi dan membentuk medan internal yang melawan medan luar

2.7 Pengaruh Medan Listrik Terhadap Jaringan Tubuh

Medan listrik yang dihasilkan dari arus bolak-balik mempunyai efek yang berbeda-beda tergantung pada rentang frekuensinya. Rentang frekuensi ini dibedakan menjadi 3 yaitu frekuensi rendah, frekuensi menengah, dan frekuensi tinggi. Pada frekuensi rendah (di bawah 1 KHz) medan listrik dari arus bolak balik dapat merangsang jaringan melalui depolarisasi membran. Pulsa medan listrik frekuensi rendah dapat digunakan untuk merangsang pertumbuhan tulang dan mempercepat penyembuhan fraktur (Basset, 1985). Pada frekuensi menengah (100-300 KHz) efek stimulasi berkurang tetapi tidak memiliki efek biologis. Pada frekuensi tinggi (di atas 1 MHz) pemanasan menjadi lebih dominan. Untuk treatment kanker dengan menggunakan medan listrik, frekuensi yang digunakan adalah frekuensi menengah karena pada rentang frekuensi ini, tidak menimbulkan

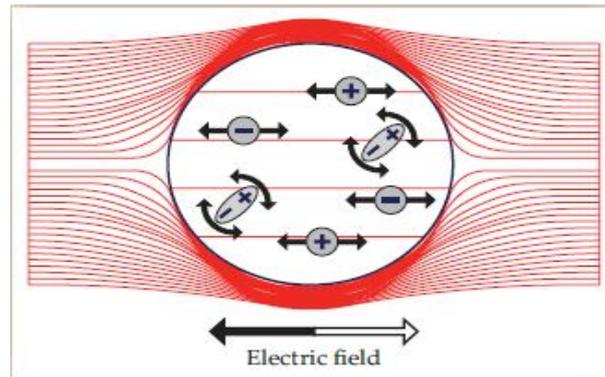
efek biologis dan memiliki efek menghambat dan menghancurkan pembelahan sel.

Treatment dengan menggunakan elektroda yang terisolasi memiliki efek yang sangat kecil apabila digunakan terhadap tubuh. Perawatan ini akan menimbulkan resiko kejang atau aritmia jantung apabila frekuensi yang digunakan adalah 10 KHz. Namun, karena frekuensi yang digunakan dalam eksperimen ini lebih besar dari 10 KHz maka efek samping tersebut tidak akan terjadi.

2.8 Pengaruh Medan listrik Terhadap Sel Normal dan Sel Kanker

Sel normal dan sel kanker, keduanya merupakan sel yang aktif membelah. Sel normal akan melakukan pembelahan ketika mendapat sinyal dari mesin selular untuk melakukan pembelahan. Misalnya ketika terjadi kerusakan sel. Apabila tidak terdapat sinyal untuk membelah, maka sel akan diam. Akan tetapi, sel kanker akan tetap membelah meskipun tidak ada sinyal dari mesin selular untuk membelah.

Ada dua perbedaan utama pengaruh medan listrik terhadap sel diam dan sel yang membelah. Pada sel-sel yang diam, medan listrik hanya menimbulkan vibrasi. Gambar 2.12 menunjukkan distribusi medan listrik pada sel yang diam. Pada sel diam, medan listrik eksternal tidak mampu mempengaruhi medan listrik internal yang berada di dalam sel. Hal ini karena pada sel yang diam, mereka memiliki sebuah membran sel (lapisan lipid) yang bertindak seperti kapasitor dengan impedansi yang tinggi pada frekuensi yang digunakan, sehingga medan listrik eksternal tidak dapat mempenetrasi membran sel. Medan listrik eksternal tetap berada di luar membran sel dan hanya sedikit sekali medan listrik yang mampu melewati membran sel.



Gambar 2.12 Pengaruh medan listrik pada sel yang diam

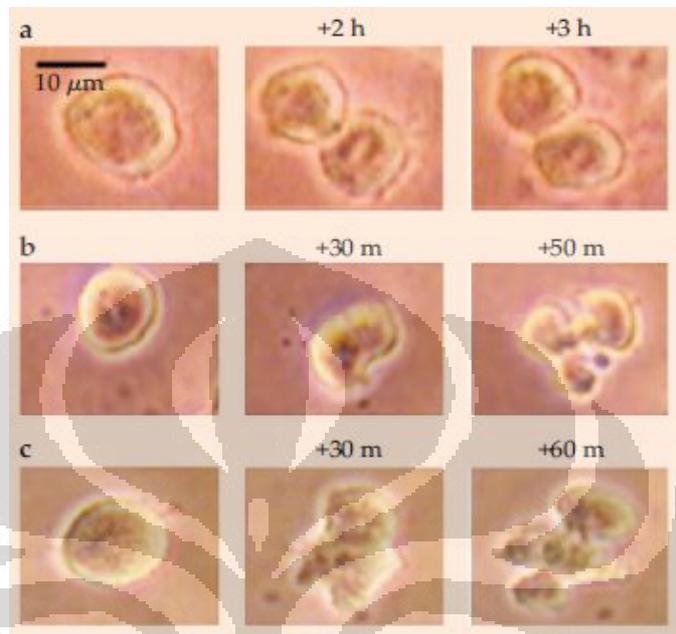
Medan listrik hanya berpengaruh pada saat sel sedang mengalami pembelahan. Pada saat sel sedang membelah, sel menjadi sangat sensitif sehingga apabila ada pengaruh ataupun rangsangan dari luar, maka akan mempengaruhi proses pembelahan sel. Prinsip dasar terapi menggunakan medan listrik adalah bahwa medan listrik memiliki pengaruh terhadap pembelahan sel. Sel kanker dikenal sebagai sel dengan tingkat pembelahan (proliferasi) yang tinggi, maka dari itu dengan menggunakan prinsip dasar ini, medan listrik dapat diaplikasikan untuk pengobatan kanker.

Ketika sel sedang mengalami pembelahan, medan listrik eksternal mampu mempengaruhi medan listrik internal sehingga garis-garis medan listrik yang berada di dalam sel akan menjadi lebih rapat. Pengaruh medan listrik pada saat sel sedang membelah ada dua macam yaitu menghambat proliferasi sel kanker dan menghancurkan sel yang sedang mengalami pembelahan.

2.8.1 Medan Listrik Menghambat Proliferasi Sel

Medan listrik mampu menghambat proliferasi sel karena adanya medan listrik ini menghambat pembentukan dan fungsi gelendong mitosis (suatu struktur yang memandu replikasi kromosom saat mereka terpisah ke dalam dua sel anakan). Gelendong terdiri dari komponen-komponen sel yang dikenal sebagai mikrotubulus (dibentuk dari polimerisasi tubulin dimer). Mikrotubulus merupakan komponen yang memiliki momen dipol listrik yang tinggi sehingga mereka terpengaruh oleh medan listrik. Pada sel yang normal, pembelahan sel biasanya berlangsung selama ± 1 jam, akan tetapi setelah diberi medan listrik, pembelahan masih belum sempurna meskipun sudah berlangsung selama 3 jam. Gambar 2.13a

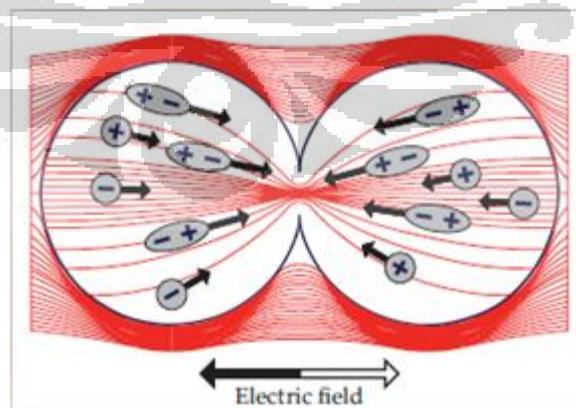
menunjukkan bahwa pembelahan sel berlangsung lebih lambat. Gambar 2.13b dan 2.13c menunjukkan bahwa medan listrik kadang kadang dapat menghancurkan sel yang sedang mengalami pembelahan.



Gambar 2.13 Pembelahan sel setelah diberi medan listrik (Palti, et.al. 2004)

2.8.2 Medan Listrik Menghancurkan Sel yang Membelah

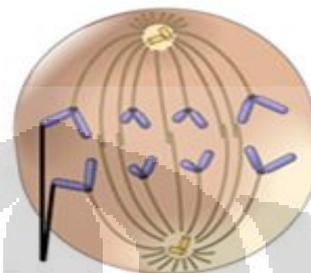
Kadang-kadang sel-sel anakan hancur sebelum mereka memisahkan diri dari pasangan mereka (Gambar 2.13b dan c). Hal ini dapat terjadi karena medan listrik yang tinggi berkembang antara dua sel anak.



Gambar 2.14 Pengaruh medan listrik pada saat sel membelah

Berdasarkan Gambar 2.14 dapat dijelaskan bahwa pada sel yang sedang mengalami pembelahan, medan listrik yang lebih besar terdapat dalam ujung

antara dua sel anakan yang akan terpisah. Hal ini mengakibatkan tubulin dimer bergerak ke arah medan listrik yang lebih besar. Peristiwa ini terjadi pada saat pra-telofase (antara anafase dan telofase). Sementara itu, fungsi tubulin dimer adalah untuk menarik kromatid menuju ke kutub pembelahan seperti terlihat pada gambar.



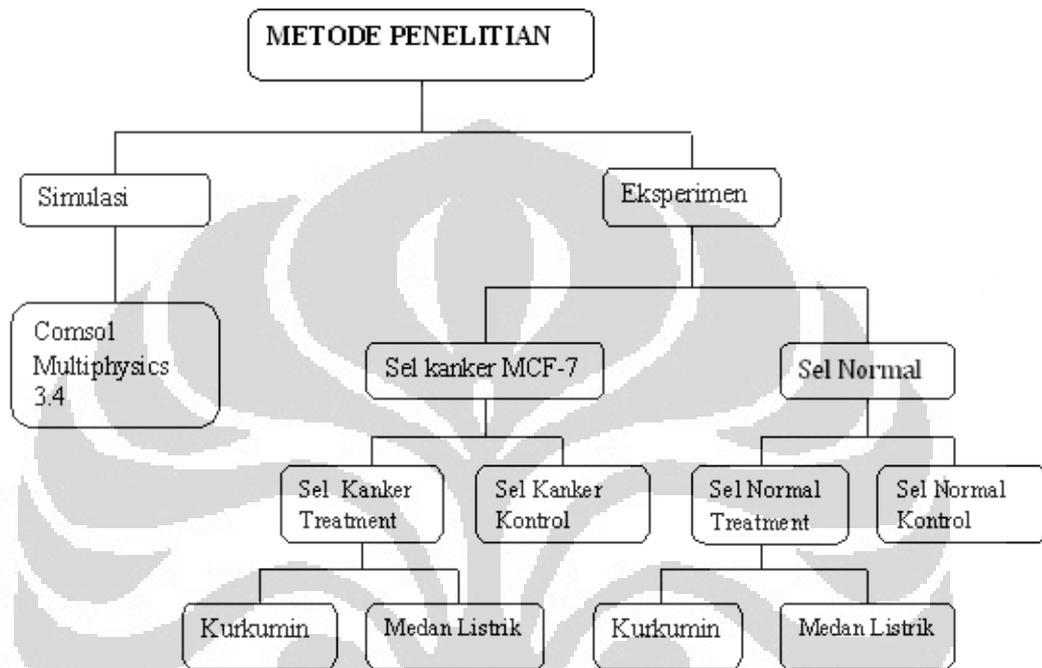
kromatid bergerak menuju ke kutub pembelahan

Gambar 2.15 Tubulin dimer menarik kromatid menuju ke kutub pembelahan

Namun, akibat adanya pengaruh medan listrik ini, tubulin dimer tidak melaksanakan fungsinya dengan baik, sehingga mengakibatkan hancurnya pembelahan sel.

BAB III METODE PENELITIAN

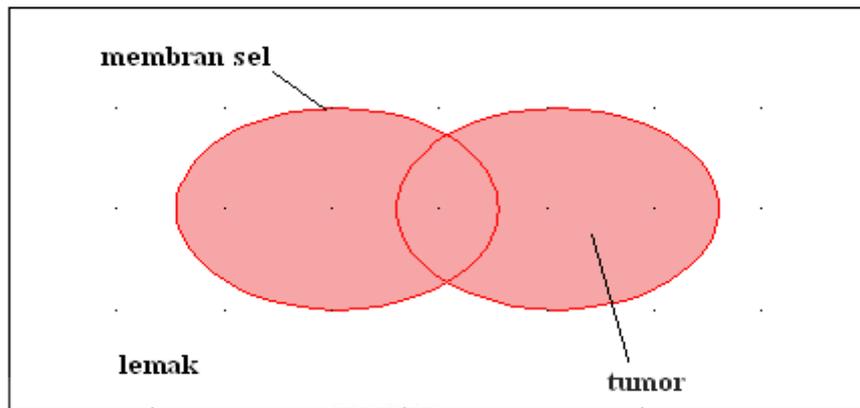
Pada penelitian ini, metode yang dilakukan meliputi simulasi dan eksperimen. Gambar 3.1 menunjukkan skema penelitian yang dilakukan.



Gambar 3.1 Skema Penelitian

3.1 Simulasi Distribusi Medan Listrik pada Pembelahan Sel

Distribusi medan listrik pada sel yang sedang membelah dapat disimulasikan dengan menggunakan software COMCOL Multiphysics 3.4. Langkah pertama adalah membuat model sel yang sedang membelah seperti pada Gambar 3.2. Setelah model dibuat, maka kita menentukan nilai permitivitas listrik dan konduktivitas listrik. Nilai permitivitas lemak dan jaringan tumor berturut-turut adalah 4.2 dan 43.7. Sedangkan nilai konduktivitas listrik untuk lemak adalah 0.16 S/m dan untuk jaringan tumor adalah 6.94 S/m.



Gambar 3.2 Model untuk sel yang sedang membelah

3.2 Eksperimen

3.2.1 Peralatan Dan Bahan

a. Plate 24-Well Cell Culture

Plate 24-well cell culture merupakan plate untuk menanam sel kanker. Di tempat inilah sel-sel yang telah ditanam dibiarkan tumbuh. Dalam eksperimen ini ada 4 buah plate 24-well cells culture chamber yang digunakan yaitu 2 buah plate untuk sel kanker dan sel normal yang diberi medan listrik serta 2 buah plate untuk kontrol sel kanker payudara dan kontrol sel normal.

b. Kapasitif Elektro Terapi

Kapasitif Elektro Terapi merupakan alat yang digunakan untuk menghasilkan medan listrik. Arus listrik yang digunakan adalah arus listrik bolak-balik dengan rentang tegangan dari -8.5 V sampai $+8.5\text{ V}$. Frekuensi yang dapat dihasilkan dari Kapasitif Elektro Terapi adalah 40 KHz, 70 KHz, 100 KHz, dan 150 KHz. Dalam penelitian ini, frekuensi yang digunakan adalah 100 KHz. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Yolam Palti, medan listrik dengan frekuensi 100 KHz dapat digunakan untuk menghambat pertumbuhan kanker otak.

Medan listrik yang dihasilkan dari Kapasitif Elektro Terapi adalah medan listrik statis. Elektroda yang digunakan pada alat ini tidak

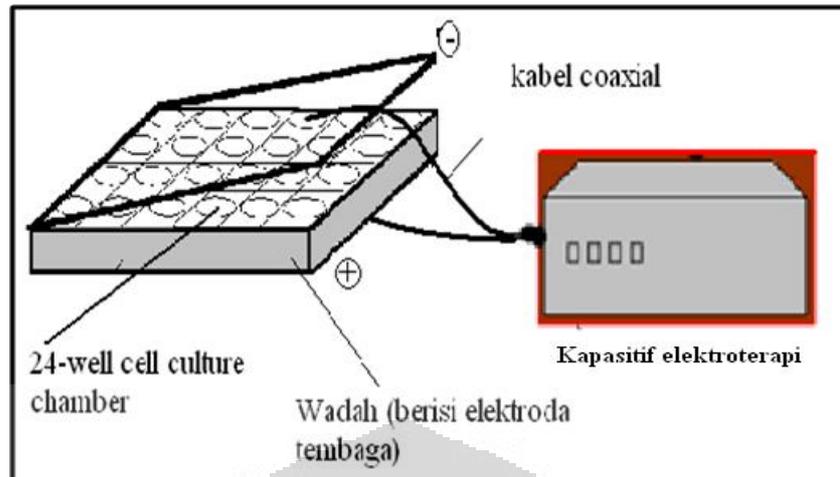
menempel dengan sel kanker, melainkan berada dalam suatu wadah (tempat untuk meletakkan plate). Karena elektroda yang digunakan tidak menempel, maka tidak ada arus listrik yang mengalir pada sel. Dalam percobaan ini yang berpengaruh terhadap pertumbuhan sel adalah medan listrik.



Gambar 3.3 Kapasitif Elektro Terapi

c. Wadah (Tempat Elektroda Tembaga Diletakkan)

Wadah yang digunakan pada eksperimen ini terbuat dari tembaga yang di pasang pada sisi alas dan sisi bawah tutup. Wadah ini berfungsi sebagai tempat untuk meletakkan *24-well cell culture chamber* sehingga medan listrik dapat menyebar ke semua sel. Bagian alas dihubungkan dengan kabel koaxial yang tidak di ground sehingga bermuatan positif (+), sedangkan pada bagian tutup dipasang kabel koaxial yang diground atau bermuatan (-). Kabel koaxial inilah yang nantinya akan dihubungkan dengan Kapasitif Elektro Terapi sehingga ketika dihubungkan dengan sumber listrik AC, maka arus listrik akan mengalir ke dalam wadah melalui tembaga.



Gambar 3.4 Susunan alat dalam eksperimen

d. Osiloskop

Sebelum treatment dilakukan, tegangan dan frekuensi alat Kapasitif Elektro Terapi diukur terlebih dahulu dengan menggunakan osiloskop yang dihubungkan dengan menggunakan kabel coaxial.

e. Kurkumin

Kurkumin yang digunakan adalah ekstrak kunyit dengan kemurnian 97 % (Merck, Schuchardt, Germany)

f. Sel Kanker MCF-7 dan Sel Normal *Fibroblast Vero*

Sel yang digunakan dalam penelitian ini adalah sel kanker payudara MCF-7 dan sel normal *fibroblast vero*. Kedua sel ini ditumbuhkan dan dibiarkan selama beberapa hari. Setelah sel tumbuh dan membelah beberapa kali, sel inilah yang kemudian digunakan dalam eksperimen.

3.2.2 Metode Eksperimen

Melalui alat Kapasitif Elektro Terapi, medan listrik dengan frekuensi 100 KHz dialirkan ke dalam plate *24-well cell culture chamber* tempat sel kanker diberi perlakuan melalui elektroda tembaga yang diletakkan di dalam wadah. Sel yang digunakan dalam eksperimen ada dua jenis yaitu sel kanker payudara MCF-7 dan sel normal *Fibroblast Vero*. Sel kanker payudara MCF-7 yang telah

ditumbuhkan tadi dibagi menjadi 2 bagian yaitu sel kanker payudara MCF-7 yang diberi perlakuan (dengan medan listrik frekuensi 100 KHz selama 72 jam maupun perlakuan dengan menggunakan kurkumin) dan sel kanker payudara MCF-7 yang tidak diberi perlakuan apapun. Sel kanker yang diberi perlakuan disebut dengan sel kanker *treatment*, sedangkan sel kanker yang tidak diberi perlakuan disebut dengan sel kanker kontrol. Sel kanker *treatment* terdiri atas *treatment* dengan menggunakan medan listrik, *treatment* dengan menggunakan kurkumin dan *treatment* medan listrik yang dipadukan dengan kurkumin.

Hal ini juga dilakukan untuk sel normal *Fibroblast Vero*. Sel normal dibagi menjadi 2 yaitu sel normal yang diberi perlakuan atau sel normal *treatment* dan sel normal yang tidak diberi perlakuan apapun. Sel normal yang diberi perlakuan disebut dengan sel normal *treatment*, sedangkan sel normal yang tidak diberi perlakuan disebut dengan sel normal kontrol. Sel normal *treatment* terdiri atas *treatment* dengan menggunakan medan listrik, *treatment* dengan menggunakan kurkumin dan *treatment* medan listrik yang dipadukan dengan kurkumin. Gambar 3.1 merupakan skema pengambilan data yang akan dilakukan dalam eksperimen seperti yang telah dijelaskan pada penjelasan di atas.

❑ Menghitung Jumlah Sel

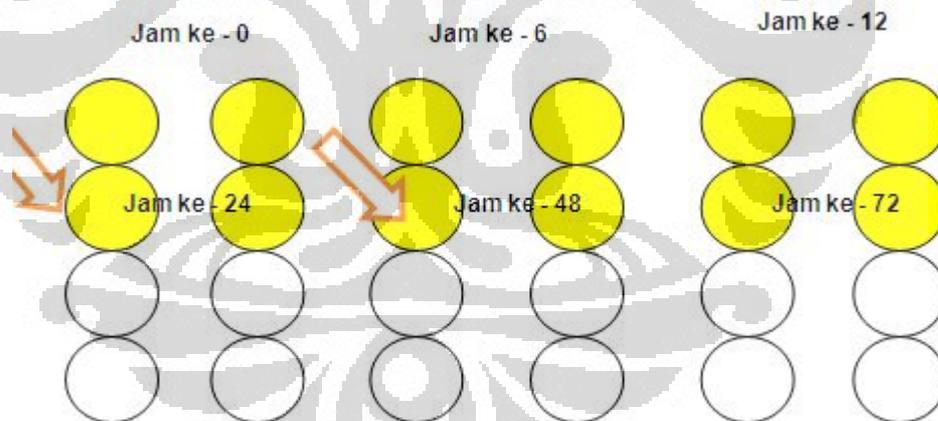
Langkah pertama yang dilakukan dalam eksperimen adalah menanam sel dalam plate 24-well cells culture. Sel yang telah disiapkan dimasukkan ke dalam plate dengan menggunakan pinset dan ditetakkan ke dalam tiap-tiap lubang seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Cara menanam sel dalam plate 24 well cells culture

Jika sel telah selesai ditanam dalam plate, langkah selanjutnya adalah memasukkan plate ke dalam wadah yang bersisi elektroda tembaga. Plate yang telah diletakkan ke dalam wadah kemudian disimpan di dalam inkubator dan Kapasitif Elektro Terapi kemudian dinyalakan. Pemberian medan listrik melalui alat Kapasitif Elektro Terapi dilakukan selama 72 jam secara kontinu. Setelah 72 jam, medan listrik yang diberikan kepada sel kanker payudara MCF-7 dan sel normal *Fibroblast Vero* dihentikan.

Perhitungan jumlah sel dilakukan pada 0 jam yaitu jumlah sel sebelum diberi medan listrik atau jumlah sel mula-mula. 6 jam setelah pemberian medan listrik jumlah sel dihitung kembali. Perhitungan ini dilakukan secara terus menerus pada jam ke 12, 24, 48, dan 72. Untuk menghitung jumlah sel, dilakukan dengan cara mengambil 2 buah sample dari tiap-tiap plate *24-well cell culture*. Kedua sample tersebut dikeluarkan dari inkubator, sementara sel-sel kanker payudara MCF-7 dan sel normal *Fibroblast Vero* lainnya dibiarkan tumbuh. Kedua sample ini dihitung dengan menggunakan mikroskop.



Gambar 3.6 Pembagian sel dalam plate dan jadwal pengamatan

Cara menghitung jumlah sel:

- Ambillah sampel 1 dari sumur pertama dengan menggunakan pinset. sebanyak 2 ml.
- Untuk sample 2, ambil pula dari sumur kedua sebanyak 4 ml.
- Rata-ratakan nilai sample 1 dan sample 2, sehingga diperoleh sampel rata-rata

$$\text{sampel rata - rata} = \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2}}{2}$$

- o Jumlah sel/ml dihitung dengan cara mengalikan jumlah sample rata-rata dengan 250. Nilai 250 merupakan jumlah sel tiap ml.

$$\text{jumlah sel/ml} = \text{sampel rata - rata} \times 250$$

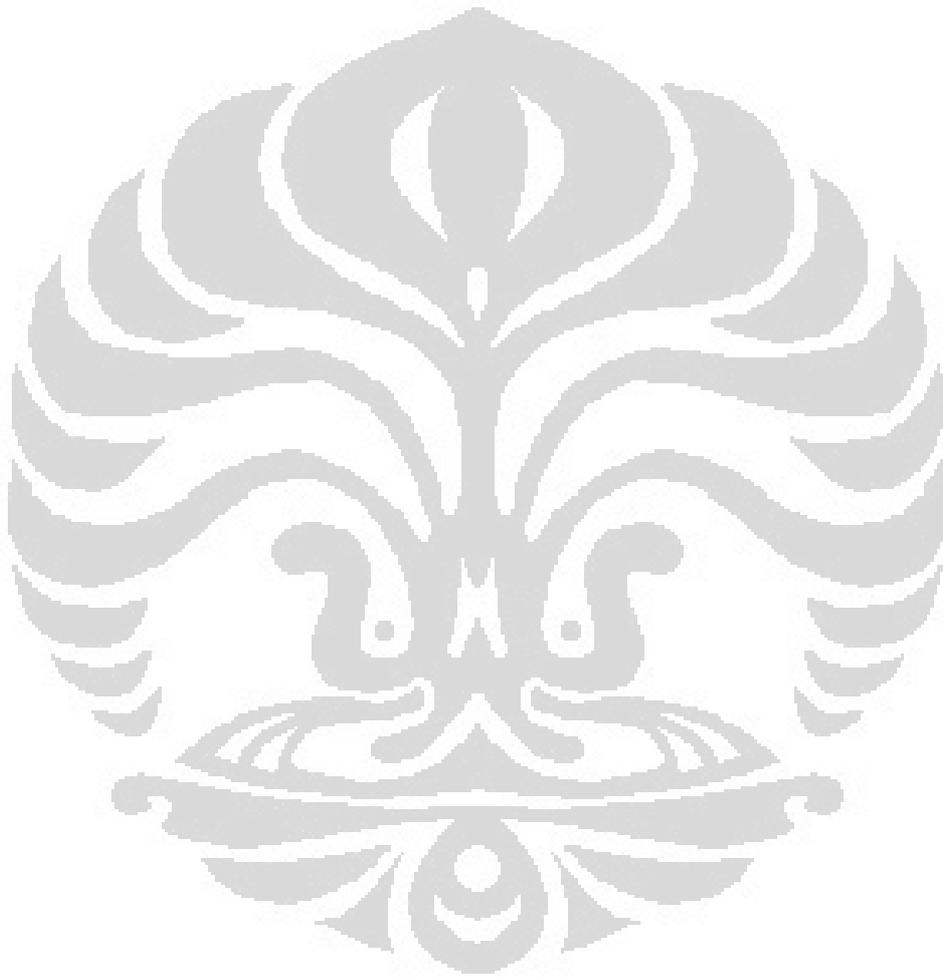
□ Mengetahui Pengaruh Medan Listrik Terhadap Sel Kanker Payudara MCF-7 dan Sel Normal *Fibroblast Vero*

Untuk mengetahui pengaruh medan listrik terhadap sel kanker payudara MCF-7 adalah dengan membandingkan jumlah antara sel kanker payudara MCF-7 yang diberi treatment dengan kontrol sel kanker. Kontrol sel kanker adalah sel kanker yang tidak diberi perlakuan apapun. Sel kontrol hanya dibiarkan tumbuh kemudian dihitung pada jam ke 6, 12, 24, 48, dan 72 sama halnya dengan sel kanker payudara MCF-7 yang diberi medan listrik. Jumlah sel kanker payudara MCF-7 dan sel kanker yang telah dihitung diplot ke dalam suatu grafik dan dibandingkan hasilnya apakah terdapat perbedaan antara sel kanker payudara MCF-7 yang diberi medan listrik dengan sel kanker yang tidak diberi perlakuan.

Untuk mengetahui pengaruh medan listrik terhadap sel normal adalah dengan membandingkan jumlah antara sel normal yang diberi treatment dengan kontrol sel normal. Kontrol sel normal adalah sel normal yang tidak diberi perlakuan apapun. Sel kontrol hanya dibiarkan tumbuh kemudian dihitung pada jam ke 6, 12, 24, 48, dan 72 sama halnya dengan sel normal yang diberi medan listrik. Jumlah sel normal yang diberi medan listrik dengan dan sel normal yang tidak diberi medan listrik diplot ke dalam suatu grafik dan dibandingkan hasilnya apakah terdapat perbedaan. Pengaruh medan listrik terhadap sel normal perlu diketahui dengan tujuan untuk melihat apakah medan listrik memiliki efek terhadap jaringan normal yang juga mengalami pembelahan.

Efek kurkumin terhadap sel kanker payudara MCF-7 dan sel normal *Fibroblast Vero* dapat diketahui dengan melihat hubungan antara

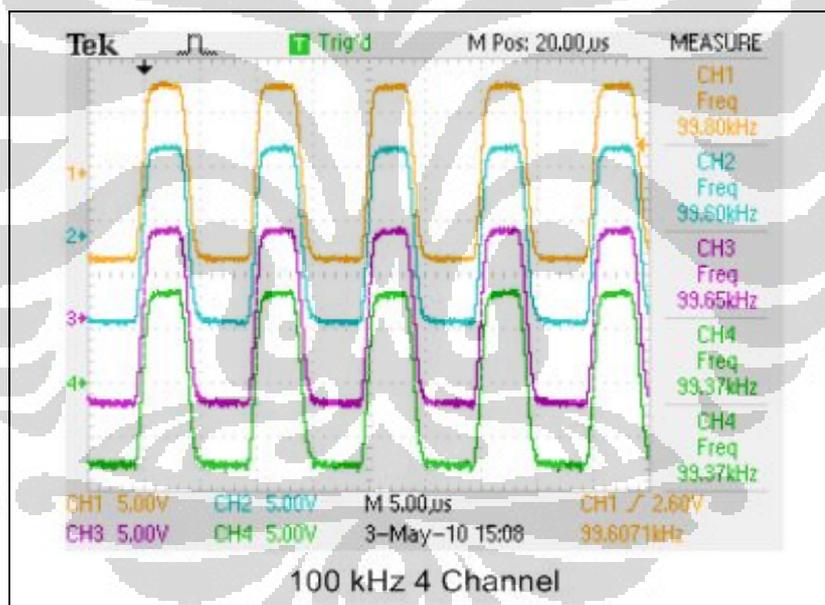
sel kanker payudara MCF-7 dan sel normal Fibroblast Vero yang diberi perlakuan dengan kurkumin dan sel yang tidak diberi perlakuan apapun. Hubungan ini dapat digambarkan dalam bentuk grafik.



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengukuran Tegangan dan Frekuensi Output Kapasitif Elektro Terapi

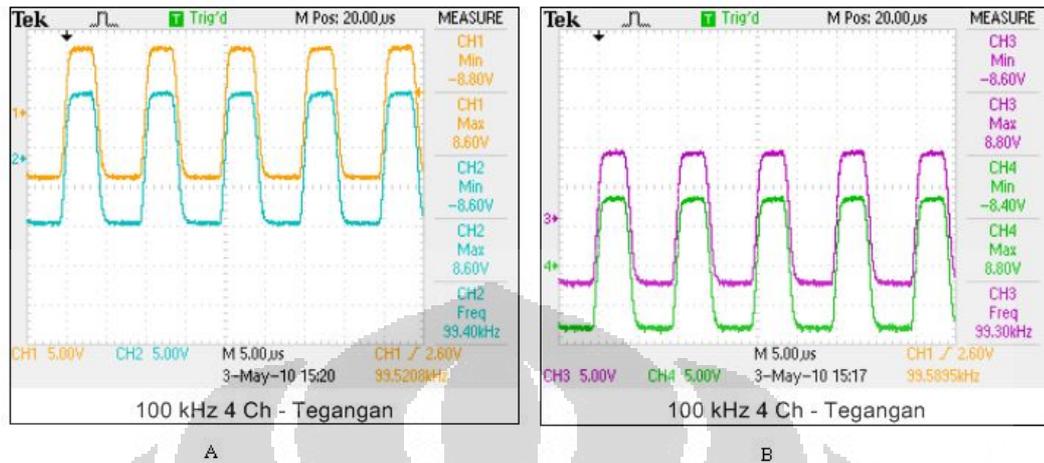
Pengukuran tegangan dan frekuensi output dilakukan alat Kapasitif Elektro Terapi digunakan dalam eksperimen. kapasitif elektro terapi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan sumber arus bolak-balik dengan tegangan puncak 17 V. Elektro terapi ini terdiri dari 4 buah chanel. Untuk mengetahui tegangan dan frekuensi yang output ketika menggunakan 4 chanel, maka diperlukan pengukuran dengan menggunakan osiloskop.



Gambar 4.1 Grafik frekuensi output 100 KHz 4 chanel

Grafik di atas merupakan output pengukuran frekuensi 100 KHz apabila keempat chanel diaktifkan. Data yang terukur dari osiloskop menunjukkan bahwa frekuensi output dari tiap-tiap chanel adalah 99.8 KHz, 99.6 KHz, 99.65 KHz, dan 99.37 KHz. Frekuensi output ini lebih kecil apabila dibandingkan dengan frekuensi yang terukur menggunakan satu chanel. Hal ini dapat terjadi karena adanya noise dan juga akibat sistem paralel 4 chanel mengakibatkan frekuensi

otput menjadi berkurang. Meskipun demikian, pengurangan frekuensi ini dapat diabaikan karena nilainya masih mendekati 100KHz.

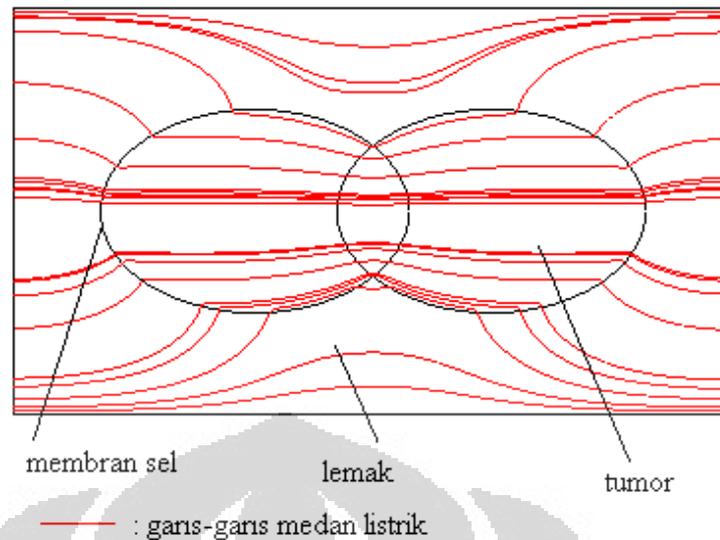


Gambar 421 Grafik tegangan output 4 chanel

Gambar 4.2 merupakan output pengukuran tegangan ketika 4 buah chanel diaktifkan. Dari grafik tersebut terlihat bahwa tegangan output pada tiap chanel sedikit berbeda. Pada chanel 1, tegangan peak yang terukur adalah -8.5 V sampai 8.5 V; -8.5 V sampai 8.6 V untuk chanel 2; -8.6 V sampai 8.8 V; dan -8.4 V sampai 8.8 V. Penyimpangan ini tidak begitu besar nilainya. Hal ini menunjukkan bahwa penyimpangan masih dalam batas toleransi sesuai dengan rekomendasi.

4.2 Distribusi Medan Listrik dalam Pembelahan Sel

Distribusi medan listrik pada sel yang sedang membelah dapat dilihat pada Gambar 4.3. Pada saat sel sedang membelah, medan listrik mampu menembus membran sel sehingga medan listrik masuk ke dalam sel. Hal ini dapat terjadi karena pada saat sel sedang membelah, sel sangat sensitif sehingga ketika ada pengaruh dari luar, akan menyebabkan sel mudah terpengaruh. Distribusi medan listrik pada sel yang sedang membelah terlihat bahwa untuk daerah tumor karena memiliki nilai permitivitas dan konduktivitas yang lebih besar, akan terlihat lebih rapat dari pada daerah yang memiliki permitivitas dan konduktivitas yang lebih rendah (lemak).



Gambar 4.3 Distribusi medan listrik pada saat sel sedang membelah

Pada sel yang diam, medan listrik tidak mampu menembus membrane sel. Hal ini karena pada sel yang diam, mereka memiliki sebuah membran sel (lapisan lipid) yang bertindak seperti kapasitor dengan impedansi yang tinggi pada frekuensi yang digunakan, sehingga medan listrik tidak dapat mempenetrasi membran sel. Medan listrik tetap berada di luar membran sel dan hanya sedikit sekali medan listrik yang mampu melewati membran sel.

4.3 Pengaruh Medan Listrik Terhadap Sel Kanker Payudara MCF-7

Jumlah sel kanker payudara MCF-7 di dalam culture dish dihitung menggunakan mikroskop. Dalam medium yang sesuai, sebagian besar jumlah sel control sudah menjadi 2 kali lipat dalam waktu kurang dari 24 jam. Tabel 4.1 menunjukkan jumlah sel kanker payudara MCF-7 setelah diberi medan listrik selama 72 jam secara terus menerus. Tabel 4.2 menunjukkan jumlah sel kanker payudara MCF-7 tanpa diberi medan listrik dan perlakuan apapun. Perhitungan jumlah sel dilakuakn pada 0 jam, 6 jam, 12 jam, 24 jam, 48 jam, dan 72 jam.

Tabel 4.1 Jumlah sel kanker payudara MCF-7 setelah diberi medan listrik selama 72 jam

Jam	Sample 1	Sample 2	Rata-rata	Jumlah Sel
0	2	4	3	750
6	2	9	5.5	1375
12	25	14	19.5	4875
24	83	59	59	14750
48	82	144	113	28250
72	162	141	151.5	37875

Tabel 4.2 Jumlah sel kanker payudara MCF-7 tanpa diberi medan listrik (sel kontrol)

Jam	Sample 1	Sample 2	Rata-rata	Jumlah Sel
0	2	4	3	750
6	14	29	21.5	5375
12	23	42	32.5	8125
24	55	9	55	13750
48	158	178	168	42000
72	201	222	211.5	52875

Sebagai informasi tambahan, diamati juga pengaruh medan listrik dan kurkumin terhadap sel kanker payudara MCF-7.

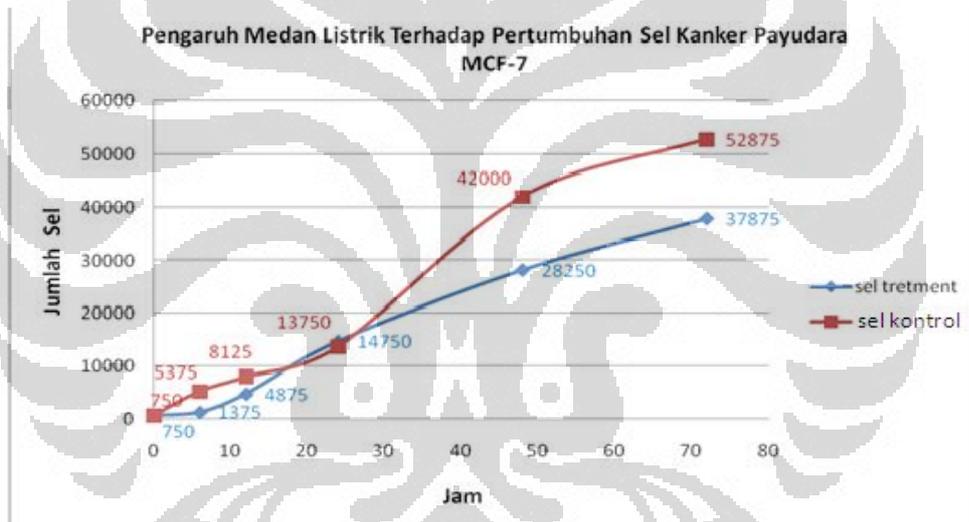
Tabel 4.3 Jumlah sel kanker payudara MCF-7 ketika diberi medan listrik dan kurkumin

Jam	Sample 1	Sample 2	Rata-rata	Jumlah sel
0	2	4	3	750
6	8	4	6	1500
12	37	15	26	6500
24	82	21	51.5	12875
48	39	13	26	6500
72	20	17	18.5	4625

Tabel 4.4 Jumlah sel kanker payudara MCF-7 ketika diberi kurkumin tanpa medan listrik

Jam	Sample 1	Sample 2	Rata-rata	Jumlah sel
0	2	4	3	750
6	17	22	19.5	4875
12	28	40	34	8500
24	12	54	33	8250
48	12	25	18.5	4625
72	58	41	49.5	12375

Gambar 4.4 merupakan plot antara jumlah sel kanker payudara MCF-7 yang diberi medan listrik dengan sel kanker payudara tanpa medan listrik.

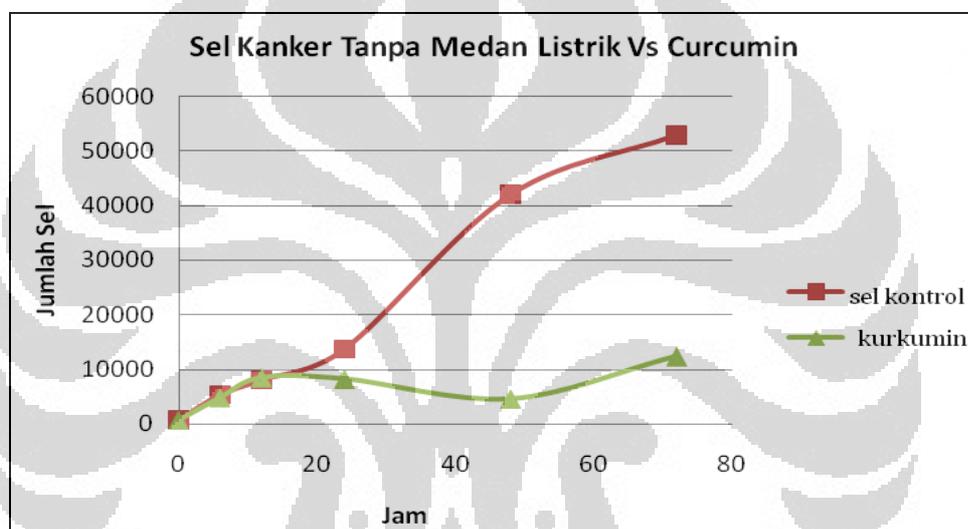
**Gambar 4.4** Grafik hubungan antara sel *treatment* medan listrik dan sel kontrol

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.4 secara umum menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang cukup signifikan antara jumlah sel kanker yang diberi perlakuan medan listrik dengan sel kanker yang tidak diberi perlakuan apapun. Garis merah menunjukkan sel kanker payudara MCF-7 yang tidak diberi medan listrik, sedangkan garis biru adalah sel kanker payudara MCF-7 yang diberi medan listrik dengan frekuensi 100 KHz.

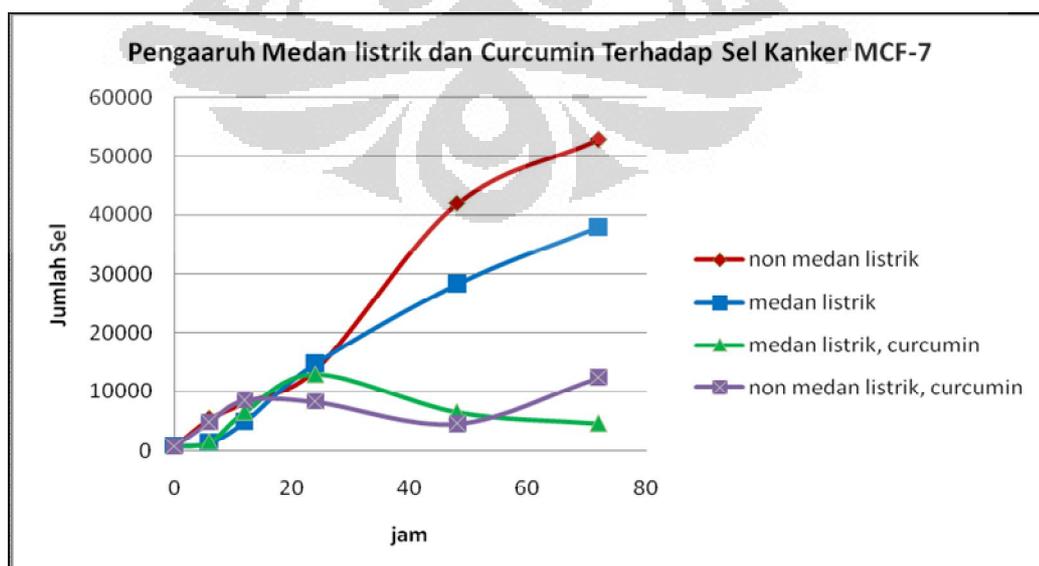
Pada jam 0-24 menunjukkan bahwa terdapat sedikit perbedaan antara jumlah sel kanker *treatment* dengan sel kanker kontrol. Pengaruh medan listrik mulai terlihat jelas pada setelah 24 jam. Pada jam ke 24-72 menunjukkan

perubahan yang sangat signifikan. Terdapat perbedaan yang cukup besar antara sel kanker payudara MCF-7 yang diberi medan listrik dengan sel kanker payudara yang tidak diberi perlakuan. Pada jam ke 72, perbandingan jumlah sel kanker payudara MCF-7 yang diberi medan listrik dengan sel kanker payudara MCF-7 yang tidak diberi medan listrik adalah 2:3. Hal ini menunjukkan bahwa medan listrik dapat menghambat pertumbuhan sel kanker payudara MCF-7 sebesar 30%.

Gambar 4.5 merupakan grafik hubungan antara sel kanker MCF-7 yang diberi perlakuan kurkumin dan sel kanker MCF-7 yang tidak diberi perlakuan apapun (sel kontrol).



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara sel *treatment* kurkumin dan sel kontrol

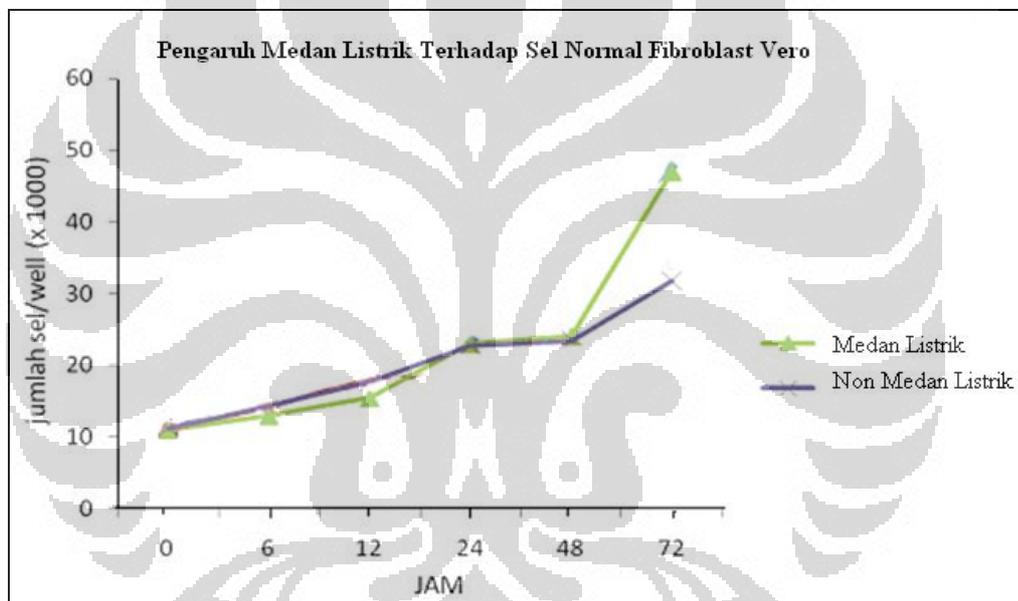


Gambar 4.6 Pengaruh medan listrik dan curcumin terhadap sel kanker MCF-7

Pada Gambar 4.5 dan 4.6 dapat terlihat bahwa pengaruh kurkumin terhadap sel kanker payudara MCF-7 adalah cukup menghambat pertumbuhan sel kanker. Efek penghambatan yang lebih besar akan terlihat ketika medan listrik dipadukan dengan kurkumin. Berdasarkan grafik pada Gambar 4.6 terjadi penurunan jumlah sel kanker yang sangat signifikan.

4.4 Pengaruh Medan Listrik Terhadap Sel Normal Fibroblast Vero

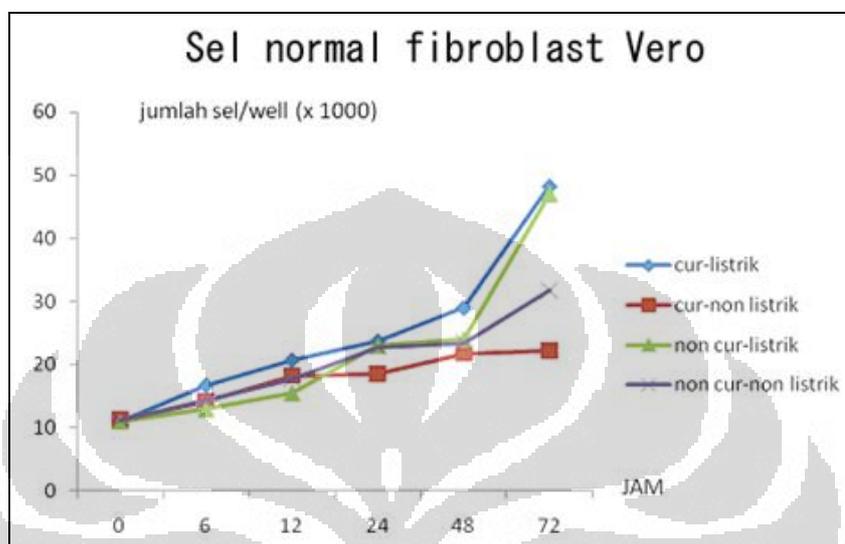
Pengaruh medan listrik terhadap sel normal *Fibroblast Vero* dapat ditunjukkan pada Gambar 4.7



Gambar 4.7 Pengaruh medan listrik terhadap sel normal fibroblast vero

Dari Gambar 4.7 dapat diketahui bahwa medan listrik tidak begitu berpengaruh terhadap sel normal. Pada jam ke 0 sampai dengan jam ke 48, pertumbuhan sel normal *Fibroblast Vero* yang diberi medan listrik dengan sel normal fibroblast fero yang tidak diberi medan listrik terlihat relative sama. Pada jam ke 72, terlihat kenaikan jumlah sel normal yang diberi medan listrik. Akan tetapi, hal ini tidak dapat mewakili hasil data secara keseluruhan. Sehingga berdasarkan eksperimen dapat disimpulkan bahwa medan listrik tidak mempengaruhi pertumbuhan sel normal.

Gambar 4.8 menunjukkan pengaruh medan listrik dan kurkumin terhadap sel normal fibroblast vero. Dari grafik tersebut terlihat bahwa pengaruh medan listrik ketika dipadukan dengan kurkumin memiliki pola yang hampir serupa dengan sel normal yang tidak diberi perlakuan apapun.



Gambar 4.8 Pengaruh medan listrik dan kurkumin terhadap sel normal fibroblast Vero.

4.5 Pembahasan

Sel-sel di dalam tubuh manusia memiliki sifat kelistrikan dan juga terdiri atas muatan-muatan dengan kutub yang berbeda. Ketika tidak ada pengaruh medan listrik dari luar, muatan-muatan ini tersebar secara acak. Akan tetapi, ketika medan listrik didekatkan dengan sel, maka muatan-muatan di dalam sel akan terpolarisasi. Apabila medan listrik dari arus bolak-balik (AC) didekatkan dengan sel, akan mengakibatkan polarisasi sel juga ikut bergerak bolak-balik. Hal ini menyebabkan kekacauan di dalam sel. Kekacauan ini akan meningkat ketika medan listrik dengan frekuensi 100 KHz didekatkan terhadap sel.

Sel kanker merupakan sel dengan tingkat proliferasi tinggi dan pembelahan yang tidak terkontrol. Sel yang aktif membelah memiliki sifat yang sangat sensitif sehingga ketika medan listrik didekatkan terhadap sel yang sedang membelah terdapat interaksi antara sel dengan medan listrik. Di dalam sel, terdapat mikrotubulus dengan dipole listrik yang sangat tinggi. Mikrotubulus tersusun atas tubulin primer yang berperan untuk menarik kromatid menuju ke kutub pembelahan. Ketika sel yang sedang membelah diberi medan listrik, medan

listrik ini mampu menembus membrane sel dan masuk ke dalam sel. Adanya medan listrik ini, menghambat tubulin dimer menarik kromatid menuju ke kutub pembelahan. Akibatnya proses pembelahan menjadi terhambat dan jumlah sel yang membelah menjadi lebih sedikit.

Pada sel normal, medan listrik tidak memiliki pengaruh. Peningkatan jumlah sel terjadi karena pada sel normal memiliki nilai permitivitas dan konduktivitas yang hampir mirip, dan jauh berbeda apabila dibandingkan dengan sel kanker. Hal ini mengakibatkan ketika diberi medan listrik, maka distribusi garis-garis medan listriknya cenderung lurus. Sehingga mempercepat terjadinya polarisasi dan pembelahan sel menjadi lebih cepat.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

- ❑ Medan listrik dengan frekuensi 100 KHz apabila diberikan selama 72 jam memiliki pengaruh terhadap pertumbuhan sel kanker payudara MCF-7 yaitu untuk menghambat proliferasi sel kanker sebesar 30%.
- ❑ Medan listrik dengan frekuensi 100 KHz tidak berpengaruh signifikan terhadap pertumbuhan normal *Fibroblast Vero*

5.2 Saran

Dalam penelitian ini, frekuensi yang digunakan hanya satu rentang frekuensi sehingga penulis tidak bisa mengetahui frekuensi optimal yang dapat digunakan untuk traten ini. Maka dari itu, untuk penelitian selanjutnya penulis menyarankan agar ada beberapa rentang frekuensi yang digunakan sehingga bisa diperoleh dan dibandingkan hasil antara satu frekuensi dengan frekuensi lainnya.

DAFTAR REFERENSI

- Anwar, Chairul. 2009. *Inilah Cara Sel Kanker Tumbuh*. <http://www.harian-global.com/index.php> 07 Juni 2010 13:00:51
- Balczon, R., A.L. Gard, S.R. Goodman, S.G. Kayes, W. E. Zimmer. 1998. *Medical Cell Biology*. Philadelphia: Lippincott William and Wilkins
- Bassett, CA., 1985. *The development and application of Pulsed Electromagnetic Fields (PEMFs) for ununited fractures and arthrodeses*. Clin Plast Surg 1985;12:259 –77.
- Cone CD. *The role of surface electrical transmembrane potential in normal and malignant mitogenesis*. Ann NY Acad Sci 1975;238:420-35.
- Depkes (Kementrian Kesehatan Republik Indonesia). *Jika Tidak Dikendalikan 26 Juta Orang Di Dunia Menderita Kanker*. Mei 5. 2010. <http://www.depkes.go.id>.
- Goodlett, C.R., and Horn, K.H. 2001. *Mechanisms of alcohol-induced damage to the developing nervous system*. Alcohol Research & Health 25(3):175–184., <http://www.niaaa.nih.gov/Resources/GraphicsGallery/Liver/changes.htm>
- Hagl, Dina M., et. al. 2003. *Sensing Volume of Open Ended Coaxial Probes for Dielectric Characterization of Breast Tissue at Microwave Frequencies*. IEEE Trans. Microw. Theory Tech., vol 51, no.4 pp.1194-1206, Apr. 2003
- Haltiwanger, Steve. *The Electrical Properties of Cancer Cells*. 15 Februari 2010. <http://www.royalrife.com/haltiwanger1.pdf>
- Junior, S.C. Ferreira, M.L. Martins, and M.J. Vilela. 2002. *A Reaction-Diffusion Model for the Growth of Avascular Tumor*, arXiv: cond-mat/0109472 v2 20 Nov 2001, Phys. Rev. E 65, 021907.
- Noorwati, 2009. *Kemoterapi, Manfaat dan Efek Samping*. Dharmais Cancer Hospital Website & Rumah Kanker. www.unordinary-world.blogspot.com/.../kemoterapi-manfaat-dan-efek-samping.html

- Palti, Yoram et al (2004, May 1). *Disruption of Cancer Cell Replication by Alternating Electric Fields*. *Cancer Research*, 64, 3288-3295. Februari 8, 2010. <http://www.virtualtrials.com/pdf/Novocure.pdf>
- Pardee, Arthur B. 1976. *Cancer Cells and Normal Cells*. Proceedings of the American Philosophical Society, Vol. 120, No. 2. pp. 87-92. 23/03/2010 03:42 <http://www.jstor.org/stable/986514>
- Pecorino, Lauren. 2005. *Molecular Biology of Cancer mechanism, target, and therapeutics*. Oxford University Pers.
- Tobing, Rod. 2010. Organel pada Sel Eukariotik. 30 April 2010
<http://sectiocadaveris.wordpress.com/artikel-kedokteran/organel-pada-sel-eukariotik/>
- Turner P.C, A.C. McLennan, A.D Bates and M.R.H White. 2000. *Molecular Biology*. San Fransisco: Bioscientific Publisher.
- V, Mikhail. Blagosklonny-Arthur B. Pardee, *The Restriction Point of the Cell Cycle*.
http://id.wikipedia.org/wiki/Sel_%28biologi%29 27 April 2010
<http://wrghar.blogspot.com/2009/11/struktur-dan-fungsi-sel.html> Mei 5.2010

LAMPIRAN A



Gambar 1. 24-well cell culture



Gambar 2 Setting plate dalam inkubator.



Gambar 3. CET dalam keadaan on



Gambar 4. Menghitung sel



Gambar 5. Pengukuran frekuensi dan tegangan dengan oskiloskop

LAMPIRAN B

Tabel 1.1 Data sel kanker payudara MCF-7 ketika diberi medan listrik dan kurkumin

Medan Listrik, Kurkumin				
Jam	Sample 1	Sample 2	Rata-rata	Jumlah sel
0	2	4	3	750
6	8	4	6	1500
12	37	15	26	6500
24	82	21	51.5	12875
48	39	13	26	6500
72	20	17	18.5	4625

Tabel 1.2 Data sel kanker payudara MCF-7 ketika diberi kurkumin tanpa medan listrik

Non Medan Listrik, Kurkumin				
Jam	Sample 1	Sample 2	Rata-rata	Jumlah sel
0	2	4	3	750
6	17	22	19.5	4875
12	28	40	34	8500
24	12	54	33	8250
48	12	25	18.5	4625
72	58	41	49.5	12375