

KARAKTERISTIK PAPARAN RADIASI PONSEL PADA ORGAN KEPALA MANUSIA

Oleh

Ir. Sindak Hutauruk, MSEE.

Dosen tetap Fakultas Teknik



**LEMBAGA PENELITIAN
UNIVERSITAS HKBP NOMMENSEN
MEDAN
2012**

KATA PENGANTAR

Hampir semua lapisan masyarakat dari berbagai status sosial dan umur menggunakan handphone yang dikenal dengan telepon selular (ponsel) dalam berbagai kegiatan. Handphone selain digunakan untuk berbisnis juga digunakan untuk berkomunikasi antar teman, sahabat, saudara dan lain-lain. Handphone dapat digunakan pada setiap saat dan keadaan baik pada saat sedang diam maupun sedang bergerak. Handphone selalu dibawa kemana-mana yang ditempatkan di saku, tas, gengaman tangan dan sering didekatkan ketelinga pada saat berbicara.

Handphone mengeluarkan gelombang medan elektromagnetik baik pada saat stanby maupun pada saat aktif (digunakan) yang mempunyai efek kapada kesehatan manusia, hal ini lah yang perlu disadari bahwa penggunaan handphone memiliki resiko bahaya gelombang medan elektromagnetik terhadap kesehatan. Oleh sebab itu perlu diketahui dan disadarkan masyarakat pengguna handphone akan kewaspadaan terhadap bahaya paparan radiasi medan elektromagnetik dari hanphone.

Besarnya radiasi terpapar yang diabsorsi oleh tubuh manusia dinyatakan dengan SAR (*Spesific Absorbtion Rate*) dengan satuan Watt/Kg. Besarnya SAR tersebut tergantung dari besarnya gelombang medan elektromagnetik, konduktivitas, dan kerapatan massa dari bagian tubuh yang terpapar.

Pada penelitian ini, dilakukan pengukuran nilai SAR dari sebuah merek handphone yang ada dipasaran terhadap organ kepala manusia, sehinga dihasilkan sebuah karakteristik paparan medan elektromagnetik pada organ kepala manusia.

Pada kesempatan ini peneliti mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian UHN yang telah mempercayai peneliti untuk melakukan penelitian tersebut, dan terimakasih juga kepada semua pihak yang telah memberikan masukan-masukan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik. Semoga hasil penelitian ini dapat berguna bagi institusi UHN dan bagi pihak-pihak yang membutuhkannya.

Medan, 23 Agustus 2012
P e n e l i t i,

Ir. Sindak Hutauruk, MSEE.

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
ABSTRAK	v
BAB I. PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Perumusan Masalah	2
I.3. Tujuan Penelitian	3
I.4. Kontribusi Penelitian	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	5
II.1. Batas Ambang SAR	6
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	8
III.1. Menentukan Ponsel Sebagai Rujukan Penelitian	8
III.2. Menentukan Alat Pengukuran Medan Listrik	8
III.3. Menentukan Cara Pengukuran	9
III.4. Menganalisa Data Hasil Pengukuran	9
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	10
IV.1. Hasil Pengukuran	10
IV. Menganalisa Data Hasil Pengukuran	11
BAB V. KESIMPULAN	15
DAFTAR PUSTAKA	16

DAFTAR TABEL

Nomor Tabel	Judul Tabel	Halaman
1.	Konstanta Dielektrik dari Bagian Otak	9
2.	Hasil Pengukuran Medan Listrik (E) pada Saat Standby	10
3.	Hasil Pengukuran Medan Listrik (E) pada Saat Aktif	10
4.	Rata-rata Hasil Pengukuran Medan Listrik (E) pada Saat Standby.....	11
5.	Rata-rata Hasil Pengukuran Medan Listrik (E) pada Saat Aktif.....	11
6.	Nilai SAR untuk Brain (Otak) pada Saat Standby	12
7.	Nilai SAR untuk Cerebellum (Otak Kecil) pada Saat Standby.....	12
8.	Nilai SAR untuk CSF (Cairan Otak) pada Saat Standby.....	12
9.	Nilai SAR untuk Brain (Otak) pada Saat Aktif	12
10.	Nilai SAR untuk Cerebellum (Otak Kecil) pada Saat Aktif	12
11.	Nilai SAR untuk CSF (Cairan Otak) pada Saat Aktif.....	12

DAFTAR GAMBAR

=====		
Nomor Gambar	Judul Gambar	Halaman
=====		
1.	Bagian-bagian pada Organ Kepala Manusia	3
2.	Handphone Merek Cross Tipe PD6	8
3.	Grafik Nilai SAR pada Keadaan Standby	13
4.	Grafik Nilai SAR pada Keadaan Aktif	13
=====		

ABSTRAK

Handphone yang kita gunakan pada saat berbicara maupun pada saat standby akan menghasilkan medan elektromagnetik yang besarnya tergantung kepada handphone yang digunakan. Paparan radiasi medan elektromagnetik yang diabsorpsi oleh tubuh dinamakan SAR, yang diukur dengan satuan W/Kg. Paparan Medan Elektromagnetik ini dapat mengakibatkan efek fisiologi dan efek psikologi bagi manusia. Organ kepala manusia adalah bagian anggota tubuh yang paling sering terpapar medan elektromagnetik dari Handphone dan paling beresiko terhadap dampak dari radiasi Handphone tersebut. Penelitian ini mengukur besarnya SAR yang terpapar pada organ kepala manusia dari sebuah Handphone dengan merek Cross tipe PD6. Hasil yang diperoleh bahwa nilai SAR yang diperoleh dalam keadaan aktif lebih besar daripada dalam keadaan standby. Nilai SAR terbesar dialami pada CSF dengan berat massa 0.0808 gram adalah sebesar 0,273 watt/kg. dalam keadaan standby dan 0,387 watt/kg dalam keadaan aktif. Sedangkan untuk ukuran massa 1 gram CSF memiliki SAR 3,37 watt/kg dalam keadaan standby dan 4,78 dalam keadaan aktif sehingga telah melampaui batas ambang yang ditetapkan oleh WHO melalui ICNIRP yaitu sebesar 1,6 watt/kg.

I. PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Handphone atau yang sering disebut dengan telepon selular (ponsel) bukan lagi hanya dimiliki oleh kalangan kelas menengah ke atas, tetapi sudah dimiliki oleh seluruh kalangan. Ponsel sudah dimiliki oleh para pekerja kantoran mulai dari direktur sampai dengan pegawai rendahan, mulai dari presiden sampai pegawai kelurahan, mulai dari pengusaha kelas kakap sampai dengan pedagang asongan, mulai dari Rektor sampai dengan mahasiswa, bahkan pengangguranpun sudah banyak memiliki Ponsel.

Apakah saat ini Ponsel sudah masuk sebagai barang kebutuhan primer ? pertanyaan ini mungkin bisa dijawab ya , sebab hampir setiap orang memilikinya bahkan tidak jarang banyak orang memiliki lebih dari satu hanphone. Saat ini orang merasa ada sesuatu yang kurang apabila dia tidak memiliki Ponsel, bahkan orang yang memiliki Ponsel pun merasa ada sesuatu yang kurang apabila dia tidak sedang membawa Ponsel. Kadang orang rela kembali lagi kerumahnya untuk mengambil Ponsel yang tertinggal walaupun dia harus mengorbankan waktu 10 sampai 30 menit lamanya.

Mengapa begitu banyak orang memiliki Ponsel seakan telah menjadi kebutuhan utama ?, hal ini terjadi karena :

1. Ukuran Ponsel semakin kecil dan ringan sehingga mudah untuk dibawa kemana-mana
2. Harga Ponsel yang sudah semakin murah meriah yang saat ini ada yang hanya berharga dibawah 200 ribu rupiah
3. Operator telepon selular yang berlomba-lomba untuk menurunkan harga pemakaian pulsanya sehingga sangat menguntungkan konsumen
4. Fitur atau kemampuan Ponsel yang semakin banyak dan luas sehingga bukan hanya digunakan sebagai alat komunikasi suara tetapi juga digunakan sebagai alat pertukaran data
5. Ponsel juga saat ini digunakan sebagai alat marketing

6. Ponsel juga saat ini digunakan untuk akses ke dunia internet
7. Sudah semakin kecilnya daerah yang blank spot sehingga hampir di semua tempat dapat dijangkau oleh sinyal Ponsel
8. Dapat digunakan sebagai media komunikasi dengan video secara real time sehingga sangat dibutuhkan oleh media cetak maupun elektronik
9. Dapat digunakan sebagai alat perekam gambar dan video

Komunikasi melalui Ponsel tidak menggunakan kabel (nirkabel) tetapi menggunakan gelombang radio melalui media transmisi udara yang sudah pasti mengandung energi medan elektromagnetik. Energi medan elektromagnetik ini merupakan radiasi gelombang elektromagnetik yang pada level tertentu dapat membahayakan kesehatan tubuh manusia.

Ponsel sering sekali dibawa dan digunakan dekat sekali dengan organ-organ tubuh manusia yang memiliki resiko tinggi terhadap paparan radiasi medan elektromagnetik khususnya bagian kepala seperti otak, gendang telinga, sinusitis, dan lain-lain.

Badan dunia WHO (*World Health Organization*) yang mengurus standard proteksi radiasi non-ionisasi adalah ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*). ICNIRP menetapkan level batas radiasi yang diperbolehkan adalah $4,5 \text{ watt/m}^2$ untuk frekuensi 900 MHz. dan 9 watt/m^2 untuk frekuensi 1800 MHz. IEEE dalam dokumen standard Std. C95.1-2005 IEE (*Std C95.1, 1999 Edition*) juga menetapkan level yang sama dengan ICNIRP. Sementara batasan radiasi yang diserap oleh tubuh manusia yang dinamakan SAR (*Specific Absorption Rate*) adalah $1,6 \text{ W/Kg}$.

Saat ini banyak sekali ponsel yang beredar dipasaran dari berbagai merek dan tipe yang diproduksi dari berbagai negara. Handphone ini ada yang diproduksi melalui pabrikasi dengan pengujian melalui quality control yang ketat baik dari segi kualitas fisik, elektronik, dan standard kesehatan yang ditetapkan oleh WHO melalui ICNIRP, tetapi ada juga yang diproduksi melalui home industri tanpa melalui pengujian quality control yang ketat.

I.2. Perumusan Masalah

Paparan radiasi yang dipancarkan oleh Ponsel pada saat standby maupun pada saat berbicara tergantung dari besarnya daya persatuan luas (kerapatan daya) yang dipancarkan oleh Ponsel yang digunakan. Besarnya radiasi

gelombang elektromagnetik yang diserap oleh organ tubuh bagian kepala tergantung dari conductivity dan kerapatan massa dari organ-organ yang terdapat pada bagian kepala manusia tersebut.

Ponsel selalu dibawa, diletakkan, dan digunakan berdekatan dengan organ-organ tubuh khususnya bagian kepala yang secara terus menerus memancarkan gelombang elektromagnetik baik dalam keadaan *standby* maupun dalam keadaan aktif (digunakan), oleh sebab itu perlu diketahui bagaimana karakteristik paparan radiasi gelombang elektromagnetik tersebut pada organ-organ tubuh bagian kepala yang sering terpapar radiasi tersebut baik dalam keadaan *standby* maupun dalam keadaan aktif.



Gambar 1. Bagian-bagian pada Organ Kepala Manusia

I.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana karakteristik paparan radiasi gelombang elektromagnetik pada organ tubuh bagian kepala manusia bila didekatkan ponsel merek Cross tipe PD6 baik dalam keadaan *standby* maupun dalam keadaan aktif.

I.4. Kontribusi Penelitian

Penelitian yang akan dilakukan ini sebagai kontribusi Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas HKBP Nommensen kepada masyarakat dan pemerintah diantaranya :

- a. Memberikan informasi kepada masyarakat luas tentang karakteristik paparan gelombang elektromagnetik pada organ tubuh bagian kepala manusia pada saat ponsel berada dekat dengan kepala manusia
- b. Memberikan masukan kepada regulator untuk menentukan kebijakan tentang pemasaran ponsel yang memiliki SAR yang melewati batas ambang
- c. Sebagai salah satu motivator untuk melakukan penelitian-penelitian yang bernuansa untuk kepentingan masyarakat luas.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada dasarnya radiasi adalah suatu cara perambatan energi dari sumber energi ke lingkungannya tanpa membutuhkan medium tertentu seperti perambatan panas, cahaya, dan gelombang radio. Radiasi yang sering di alami dan sering sekali berada disekitar kita adalah radiasi dari gelombang medan elektromagnetik yang dapat bersumber dari alamiah seperti matahari, bintang, tornado, petir, dan lain-lain atau yang dibuat oleh manusia seperti gelombang radio, sinyal televisi, sinar x, sinar gamma, dan lain-lain.

Radiasi gelombang elektromagnetik terbagi 2 kelompok (Anies, 2003), yaitu :

1. Radiasi peng-ion (*ionisasi*)
2. Radiasi tidak peng-ion (*non-ionisasi*).

Perbedaan antara kedua kelompok radiasi gelombang elektromagnetik tersebut terletak pada kemampuan radiasi gelombang elektromagnetik untuk mengionisasi molekul.

- **Kelompok gelombang elektromagnetik ionisasi** dapat mengionisasi molekul sehingga apabila terkena tubuh manusia, maka dapat menyebabkan efek akut dan kronis. Efek akut yang terjadi dapat menyebabkan sindrom saraf pusat, mual dan ingin muntah, tidak enak badan dan lesu, meningkatnya suhu tubuh manusia. Sedangkan efek kronisnya dapat menyebabkan perubahan genetika, kanker, katarak. Termasuk gelombang elektromagnetik ionisasi adalah sinar x, sinar gamma, dan sebagian sinar ultra violet.
- **Kelompok gelombang elektromagnetik yang non-ionisasi** adalah radiasi yang tidak mampu meng-ionisasi molekul. Bila melampaui nilai batas tertentu kelompok ini juga mempunyai dampak terhadap tubuh manusia seperti sakit kepala, kelelahan mental, keguguran, sulit tidur, gangguan reproduksi, indikasi tumor dan leukimia. Termasuk dalam kelompok ini adalah sinar tampak, sinar infra merah, dan **gelombang radio**.

Penelitian yang dilakukan Prof.Kurish Kumar (*Government of India Ministry of Communications & Information Technology Department of Telecommunications*) menyebutkan adanya ancaman kanker untuk remaja dan anak-anak karena radiasi medan elektromagnetik dari telepon selular.

Menurut Kementerian Teknologi Informasi dan Komunikasi dari Departemen Telekomunikasi Negara India yang dalam laporannya "*Report of The Inter-Ministerial Committee on EMF Radiation*" menyebutkan bahwa gelombang medan elektromagnetik memiliki **efek kepada manusia dan lingkungan**. Efek gelombang medan elektromagnetik terhadap manusia memiliki dua efek, yaitu :

1. Efek Bio : Mempengaruhi stimulus dan perubahan di atmosfer
2. Efek Kesehatan : Mempengaruhi kesehatan baik dalam jangka pendek maupun dalam jangka panjang

II.1. Batas Ambang SAR

Antena-antena transceiver Ponsel sebagai media untuk menerima dan memancarkan sinyal medan elektromagnetik yang dalam level tertentu akan berbahaya bagi kesehatan tubuh manusia yaitu apabila melewati batas ambang tertentu. Sebuah badan internasional yang diakui WHO untuk mengurus standard proteksi radiasi non-ionisasi adalah ICNIRP (International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection). ICNIRP menetapkan level SAR yang diperbolehkan adalah 1,6 W/Kg (*The Royal Society of Canada, 1999*).

Secara garis besar, radiasi total yang diserap oleh tubuh manusia tergantung dari beberapa hal, diantaranya :

1. Frekuensi dan panjang gelombang elektromagnetik
2. Polarisasi medan elektromagnetik
3. Jarak antara badan dan sumber radiasi elektromagnetik
4. Sifat-sifat elektrik tubuh, sangat tergantung pada kadar air di dalam tubuh, radiasi akan lebih banyak diserap pada media dengan konstanta dielektrik tinggi seperti otak, otot dan jaringan lainnya dengan kadar air tinggi.

Acuan nilai batas ambang yang digunakan pada penelitian ini adalah batasan yang ditetapkan oleh ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) yang diakui oleh WHO dan yang ditetapkan oleh IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*).

Besarnya paparan radiasi (*Paolo Vecchia*) yang diserap dinyatakan dengan SAR (*Specific Absorption Rate*),

$$SAR = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left(\frac{dW}{\rho dV} \right) \quad (W/Kg) \dots\dots\dots 1)$$

dengan,
 dW = penambahan energi yang diserap
 dm = penambahan masa
 dV = penambahan volume
 ρ = Kerapatan massa

SAR juga dapat dinyatakan,

$$SAR = \frac{\sigma |E^2|}{\rho} \dots\dots\dots 2)$$

dengan,
 σ = Conductivity (S/m)
 ρ = Kerapatan massa (Kg/m³)
 E = Kuat medan listrik (V/m)

Baku mutu atau nilai batas ambang yang ditetapkan oleh ICNIRP (*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection*) yang diakui oleh WHO dan yang ditetapkan oleh IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) berdasarkan besarnya kerapatan daya (power density) dalam satuan Watt/m² dan berdasarkan besarnya paparan radiasi yang diserap oleh tubuh manusia yang dinyatakan dengan SAR (*Spesific Absortion Rate*) dalam satuan W/Kg. ICNIRP dan IEEE menetapkan batas ambang untuk kerapatan daya pada frekuensi 900 MHz. adalah sebesar 4,5 W/m² dan pada frekuensi 1.800 MHz. adalah 9 W/m² (*IEEE Std C95.1, 1999*) sedangkan batas ambang nilai SAR adalah 1,6 W/Kg. Pada beberapa Negara, nilai batas ambang ini ditetapkan lebih kecil dari pada yang ditetapkan oleh WHO.

III. METODOLOGI PENELITIAN

III.1. Menentukan Ponsel Sebagai Rujukan Pengukuran

Berdasarkan hasil pengamatan peneliti, saat ini banyak sekali beredar dipasaran handphone yang diproduksi di negara Cina dengan harga yang cukup murah yaitu merek Cross, peneliti menetapkan tipe PD6 dari merek Cross tersebut untuk digunakan sebagai obyek pada penelitian ini. Pengukuran dilakukan pada Laboratorium Pengukuran Listrik dan Elektronika di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas HKBP Nommensen, Medan.



Gambar 2. Handphone Merek Cross Tipe PD6

III.2. Menentukan Alat Pengukuran Medan Listrik

Besaran yang akan diukur adalah kuat medan listrik dalam V/m yang dipancarkan oleh Ponsel merek Cross tipe PD6 tersebut. Untuk itu akan digunakan alat ukur gaussmeter dengan merek Lutron tipe EMF 819 yang memiliki spesifikasi berikut :



3 Axis RF Electromagnetic Field Meter
100 MHz to 3 GHz, general purpose, one probe
Frequency range up to 3 GHz
Measuring range : 0 to 199.99 V/ m,
0 to 99.999 W/ m²
0 to 9.9999 mW/ cm²
Powered by DC 9V battery or DC 9V adapter.

III.3. Menetapkan Cara Pengukuran

Cara pengukuran yang dilakukan adalah dengan cara mendekatkan handphone baik dalam keadaan aktif maupun dalam keadaan standby dengan jarak 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, dan 1 cm dari kuping, pengukuran tersebut dilakukan sebanyak 5 kali untuk setiap jarak 1.

Organ kepala manusia terdiri dari banyak bagian, yang diambil sebagai obyek penelitian ini adalah bagian otak, yaitu : otak besar (brain) , otak kecil (cerebellum) , dan cairan otak (csf).

III.4. Menganalisa Data Hasil Pengukuran

Data-data hasil pengukuran dimasukkan kerumus 2) untuk memperoleh nilai SAR yaitu dengan memasukkan nilai *conductivity* dan kerapatan massa dari organ tubuh bagian kepala manusia. Berdasarkan data yang diperoleh bahwa nilai *conductivity* dan kerapatan massa dari beberapa anggota tubuh bagian kepala manusia seperti pada Tabel 1.

Hasil yang diperoleh dari pengukuran tersebut akan diperoleh karakteristik paparan radiasi medan elektromagnetik untuk setiap organ tubuh bagian kepala manusia yang dianggap rentan terhadap resiko paparan medan elektromagnetik dari handphone.

Tabel 1. Konstanta Dielektrik dari Bagian Otak

No	Nama Anggota Tubuh	Konduktivitas σ (S/m)	Kerapatan Massa ρ (kg/m ³)	Massa satu sel (gram)
1	Brain (Otak)	0,9295	1030	0,0824
2	Cerebellum (Otak Kecil)	1,0020	1030	0,0824
3	CSF (Cairan Otak)	2,2380	1010	0,0808

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1. Hasil Pengukuran

Dari hasil pengukuran yang dilakukan maka diperoleh besarnya medan listrik (E) untuk setiap jarak dalam keadaan aktif maupun dalam keadaan standby seperti pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Medan Listrik (E) pada Saat Standby

Ukur ke	Jarak HP dengan Alat Ukur (cm)										
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
1	11,2	11,1	10,8	10,2	10,0	9,7	9,5	9,3	9,2	9,0	8,7
2	11,1	11,1	10,7	10,4	10,2	9,9	9,8	9,5	9,4	9,2	9,0
3	11,2	11,0	10,9	10,6	10,4	9,8	9,7	9,2	9,1	9,0	8,8
4	11,1	11,0	10,7	10,2	10,1	9,7	9,4	9,2	9,1	8,8	8,6
5	10,9	10,8	10,6	10,4	10,2	9,9	9,7	9,2	9,1	9,0	8,6

Tabel 3. Hasil Pengukuran Medan Listrik (E) pada Saat Aktif

Ukur ke	Jarak HP dengan Alat Ukur (cm)										
	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
1	13,2	13,1	12,8	12,2	11,8	11,7	11,4	11,3	11,1	10,8	10,7
2	13,3	13,2	12,9	12,7	12,4	12,1	11,9	11,6	11,2	10,7	10,5
3	13,1	13,0	12,8	12,6	12,2	11,9	11,6	11,2	11,1	10,8	10,5
4	13,2	12,9	12,7	12,4	11,9	11,7	11,5	11,3	11,1	10,7	10,6
5	13,3	13,2	12,8	12,7	12,2	12,0	11,8	11,6	11,2	11,0	10,8

Pengukuran dilakukan pada saat Ponsel standby, artinya Ponsel tidak sedang digunakan untuk berbicara dan juga dilakukan pada saat Ponsel sedang digunakan untuk berbicara. Pengukuran dilakukan 5 kali pada jarak 0 cm sampai 1 cm dengan langkah 0,1 cm.

IV.2. Menganalisa Data Hasil Pengukuran

Dari data hasil pengukuran untuk keadaan standby, diperoleh rata-rata harga kuat medan listrik E untuk 5 kali pengukuran untuk setiap jarak pengukuran seperti pada Tabel 4. dan untuk dalam keadaan aktif seperti pada Tabel 5.

Tabel 4. Rata-rata Hasil Pengukuran Medan Listrik (E) pada Saat Standby

Jarak HP dengan Alat Ukur (cm)										
0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
11,1	11	10,74	10,36	10,18	9,8	9,62	9,28	9,18	9	8,74

Tabel 5. Rata-rata Hasil Pengukuran Medan Listrik (E) pada Saat Aktif

Jarak HP dengan Alat Ukur (cm)										
0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
13,22	13,08	12,8	12,52	12,1	11,88	11,64	11,4	11,14	10,8	10,62

Dengan memasukkan harga-harga kuat medan listrik yang diperoleh pada Tabel 4 ke dalam persamaan 2) maka diperoleh nilai SAR untuk Brain, Cerebellum, dan CSF pada setiap jarak untuk keadaan standby seperti pada Tabel 6.

Untuk jarak 0 cm, diperoleh $E = 11,1 \text{ V/m}$

Konduktivitas (σ) Brain = $0,9295 \text{ (S/m)}$

Kerapatan Massa (ρ) = $1030 \text{ (Kg/m}^3\text{)}$

Massa satu sel = $0,0824 \text{ (g)}$

maka $SAR = \frac{0,9295 (11,1)^2}{1030} = 0,111 \text{ Watt/Kg}$

untuk 1 gram brain, nilai SAR nya adalah $(1/0,0824) \times 0,111 = 1,35 \text{ Watt/Kg}$.

Dengan cara yang sama maka untuk jarak 0,1 cm sampai dengan 1 cm diperoleh nilai SAR seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai SAR untuk Brain (Otak) pada Saat Standby

Jarak HP dengan Alat Ukur (cm)										
0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,111	0,109	0,104	0,096	0,093	0,086	0,083	0,077	0,076	0,073	0,068

Dengan cara yang sama maka nilai SAR untuk Cerebellum (Otak Kecil) pada saat standby diperoleh seperti pada Tabel 7. dan untuk CSF seperti pada Tabel 8.

Tabel 7. Nilai SAR untuk Cerebellum (Otak Kecil) pada Saat Standby

Jarak HP dengan Alat Ukur (cm)										
0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,119	0,117	0,112	0,104	0,100	0,093	0,090	0,083	0,081	0,078	0,074

Tabel 8. Nilai SAR untuk CSF (Cairan Otak) pada Saat Standby

Jarak HP dengan Alat Ukur (cm)										
0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,273	0,268	0,255	0,237	0,229	0,212	0,205	0,190	0,186	0,179	0,169

Nilai SAR pada saat aktif untuk Brain, Cerebellum, dan CSF seperti pada Tabel 9, 10, dan 11.

Tabel 9. Nilai SAR untuk Brain (Otak) pada Saat Aktif

Jarak HP dengan Alat Ukur (cm)										
0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,157	0,154	0,147	0,141	0,132	0,127	0,122	0,117	0,111	0,105	0,101

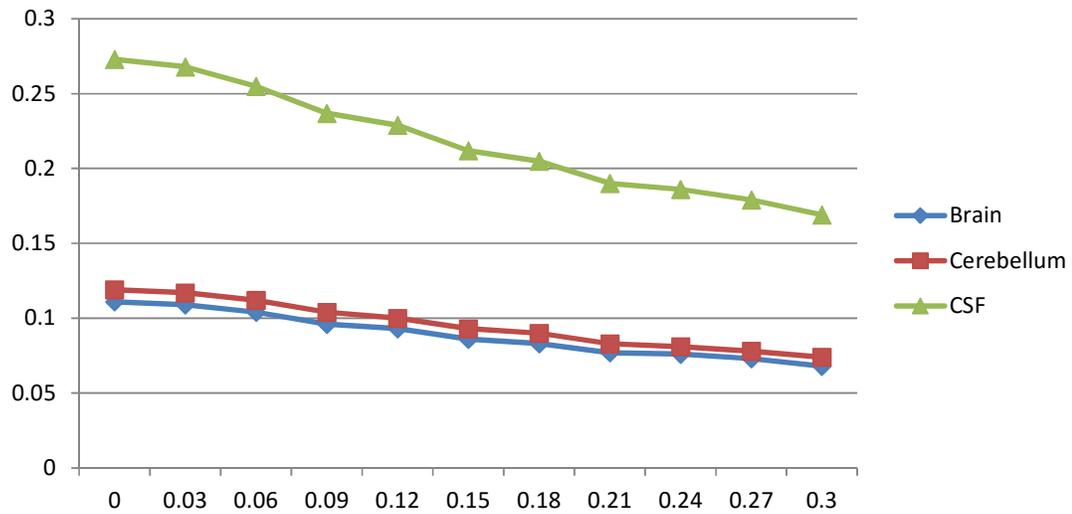
Tabel 10. Nilai SAR untuk Cerebellum (Otak Kecil) pada Saat Aktif

Jarak HP dengan Alat Ukur (cm)										
0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,170	0,166	0,159	0,152	0,142	0,137	0,131	0,126	0,120	0,113	0,109

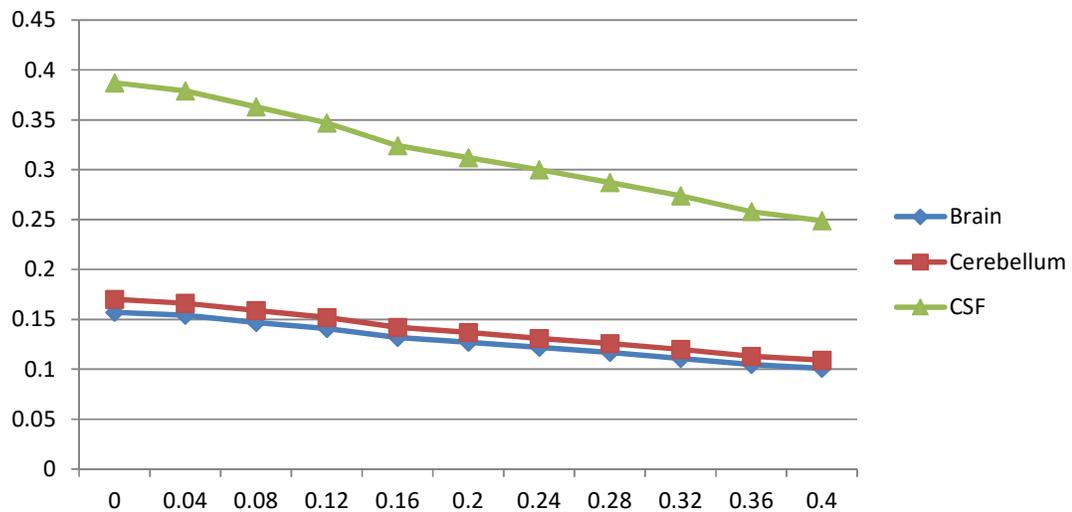
Tabel 11. Nilai SAR untuk CSF (Cairan Otak) pada Saat Aktif

Jarak HP dengan Alat Ukur (cm)										
0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
0,387	0,379	0,363	0,347	0,324	0,312	0,300	0,287	0,274	0,258	0,249

Nilai SAR dalam bentuk grafik untuk standby maupun aktif yang terpapar pada Brain, Cerebellum, dan SCF diperlihatkan pada Gambar 3, dan 4.



Gambar 3. Grafik Nilai SAR pada Keadaan Standby



Gambar 4. Grafik Nilai SAR pada Keadaan Aktif

Dari Tabel 6,7, dan 8 serta Gambar 3. terlihat bahwa bila handphone dalam keadaan standby, besarnya paparan radiasi medan elektromagnetik yang diserap oleh Brain, Cerebellum, dan CSF akan berbanding lurus dengan jarak Handphone ke kepala, artinya semakin jauh jarak Handphone dari kepala maka semakin kecil paparan radiasi yang diserap (SAR) oleh bagian kepala, hal yang

sama juga terjadi bila Handphone dalam keadaan aktif sebagai mana yang diperlihatkan pada Tabel 9,10, dan 11 serta Gambar 4.

Dari Gambar 3 dan 4 terlihat bahwa SAR akan lebih besar pada CSF dibandingkan dengan Cerebellum dan Brain hal ini disebabkan karena CSF lebih banyak mengandung cairan dibandingkan Cerebellum dan Brain, artinya nilai konduktivitas CSF lebih tinggi dibandingkan Cerebellum dan Brain. Demikian juga nilai SAR Cerebellum lebih besar sedikit dibandingkan Brain, karena nilai konduktivitas Cerebellum lebih tinggi dibandingkan Brain.

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 8. di atas, nilai SAR terbesar pada CSF dalam keadaan Handphone standby adalah 0,273 watt/kg untuk ukuran satu sel seberat 0,0808 gram, bila diasumsikan bahwa penambahan massa tidak mempengaruhi nilai konduktivitas dan kerapatan massa, maka besarnya SAR untuk 1 gram CSF adalah $(1/0,0808) \times 0,273 = 3,37$ watt/kg. sehingga telah melampaui batas nilai SAR yang ditetapkan oleh WHO melalui ICNIRP yaitu sebesar 1,6 watt/kg.

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 11. di atas, nilai SAR terbesar pada CSF dalam keadaan Handphone aktif adalah 0,387 watt/kg untuk ukuran satu sel seberat 0,0808 gram, bila diasumsikan bahwa penambahan massa tidak mempengaruhi nilai konduktivitas dan kerapatan massa, maka besarnya SAR untuk 1 gram CSF adalah $(1/0,0808) \times 0,387 = 4,78$ watt/kg. sehingga juga telah melampaui batas nilai SAR yang ditetapkan oleh WHO melalui ICNIRP yaitu sebesar 1,6 watt/kg.

V. KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Besarnya paparan radiasi medan elektromagnetik yang diserap atau besarnya nilai SAR berbanding lurus dengan jarak Handphone dengan organ kepala, baik dalam keadaan standby maupun dalam keadaan aktif.
2. Besarnya nilai SAR akan dipengaruhi oleh besarnya kandungan cairan pada organ kepala tersebut, semakin besar kandungannya maka semakin besar nilai SAR-nya.
3. Nilai SAR terbesar dalam keadaan standby maupun dalam keadaan aktif adalah yang dialami oleh CSF untuk masa satu sel (0,0808 gram) yaitu sebesar 0,273 dalam keadaan standby dan 0,387 dalam keadaan aktif untuk . Bila ukuran CSF 1 gram maka SAR dalam keadaan standby sebesar 3,37 watt/kg. dan dalam keadaan aktif sebesar 4,78 watt/kg. sehingga telah melampaui batas ambang yang ditetapkan oleh WHO melalui ICNIRP yaitu sebesar 1,6 watt/kg.
4. Nilai SAR lebih tinggi pada keadaan aktif dibandingkan dalam keadaan standby.
5. Semua pengukuran yang dilakukan berdasarkan massa untuk satu sel organ Brain, Cerebellum, dan CSF, artinya tidak berdasarkan berat 1 gram organ tersebut sebagaimana yang digunakan sebagai penentuan batas ambang nilai SAR yang ditetapkan oleh WHO.

DAFTAR PUSTAKA

- Anies, 2003. "Pengendalian Dampak Kesehatan Akibat Radiasi Medan Elektromagnetik". *Media Medika Indonesia*. Vol. 38 No. 4 : 213 – 219.
- I.B. Alit Swamardika "Pengaruh Radiasi Gelombang Elektromagnetik Terhadap Kesehatan Manusia (Suatu Kajian Pustaka)"
- IEE Std C95.1, 1999 Edition, "IEEE Standard for Safety Level with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Field, 3 kHz to 3000 GHz."
- Hardjono dan Isna Qadrijati, 2004 " Pengaruh Paparan Medan Elektromagnetik Terhadap Kecemasan Penduduk" , *Nexus Medicus*. 16 : 68-78
- <http://www.who.int> 23 Juni 2011 "Electromagnetic Fields and Public Health, Health Effects of Radio Frequency Fields" The International EMF Project, fact Sheet N183, Reviewed May 1998.
- The Royal Society of Canada, 1999, "Recent Advances In Research On Radio Frequency Fields and Health : 2001-2003" Report on the Potential Health Risk of Radio frequency Fields from Wireless Telecommunication Device, *Journal of Toxicology & Enviromental Health*, Part B, Vol. 4-4, 2001
- Government of India Ministry of Communications & Information Technology Department of Telecommunications "Report of The Inter-Ministerial Committee on EMF Radiation"
- Paolo Vecchia "RC6 Non Ionizing Radiation radiofrequency Fields : Bases for Exposure Limits" Departement of Technologies and Health National Institute of Health, Rome, Italy
- Powersim Studio Enterprise 2005 (6.00.3418.6) Service Release 5, Copyright @1993-2006 Powersim Software AS
- Sindak Hutauruk, 2011 "Kewaspadaan Terhadap Paparan Radiasi Handphone Bagi Manusia", Penelitian Intern Lemlit UHN.
- Yurnadi, 2000, Medan Listrik dan Pengaruhnya terhadap Kesehatan, *Majalah Kedokteran Indonesia*. Vol. 50 No. 8 : 393-397, 138 : 41-45.

