

Laporan Penelitian

# MODEL SAR PADA ORGAN KEPALA MANUSIA DALAM RADIUS PANCARAN ANTENA BTS TELEPON SELULAR

Oleh

**Ir. Sindak Hutauruk, MSEE.**

Dosen tetap Fakultas Teknik



**LEMBAGA PENELITIAN  
UNIVERSITAS HKBP NOMMENSEN  
MEDAN  
2013**

## KATA PENGANTAR

Salah satu Operator Telepon selular di kota Medan membangun Tower untuk antena BTS sebanyak 200 buah yang tersebar disetiap tempat dengan jarak diantaranya berjarak 1 sampai 2 km. Bila dalam satu kota terdapat 5 operator telepon selular, berarti ada sebanyak 1000 buah antena BTS dalam satu kota. Artinya dalam jarak 200 samapai 500 meter terdapat minimal 1 buah antena BTS.

Antena BTS mengeluarkan gelombang medan elektromagnetik secara terus menerus dalam daerah radius pancarannya yang semakin dekat dengan antena akan semakin besar medan elektromagnetik yang terpapar. Paparan medan elektromagnetik mempunyai efek negatif kapada kesehatan manusia, hal ini lah yang perlu disadari bahwa masyarakat yang berada dekat dengan antena BTS memiliki resiko bahaya gelombang medan elektromagnetik terhadap kesehatan. Oleh sebab itu perlu diketahui bahaya paparan radiasi medan elektromagnetik dari BTS khususnya pada terhadap bagian otak manusia.

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 antena BTS pada jarak tertentu, sehinga dihasilkan sebuah model 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, 13 Pebruari 2013  
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       |
| <br>   |         |
| BAB I. PENDAHULUAN .....                                 | 1       |
| I.1. Latar Belakang .....                                | 1       |
| I.2. Perumusan Masalah .....                             | 3       |
| I.3. Tujuan Penelitian .....                             | 4       |
| I.4. Kontribusi Penelitian .....                         | 4       |
| <br>   |         |
| BAB II. TINJAUAN PUSTAKA .....                           | 5       |
| II.1. Pencemar Elektro (Electro Polutan).....            | 5       |
| II.2. Pengaruh Gelombang EMF Terhadap Mahluk Hidup ..... | 6       |
| II.3. Paparan Radiasi EMF Pada Lingkungan Hidup .....    | 8       |
| <br>   |         |
| BAB III. METODOLOGI PENELITIAN .....                     | 11      |
| <br>   |         |
| BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN .....                       | 13      |
| <br>   |         |
| BAB V. KESIMPULAN .....                                  | 20      |
| <br>   |         |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                     | 21      |

**DAFTAR TABEL**

| <b>Nomor<br/>Tabel</b> | <b>Judul Tabel</b>                  | <b>Halaman</b> |
|------------------------|-------------------------------------|----------------|
| 1.                     | Hasil Simulasi Dengan Powersim .... | 9              |

## DAFTAR GAMBAR

| =====               |   |                |
|---------------------|---|----------------|
| <b>Nomor Gambar</b> | <b>Judul Gambar</b>                                   | <b>Halaman</b> |
| =====               |   |                |
| 1.                  | Gelombang Medan Elektromagnetik .....                 | 9              |
| 2.                  | Proses Terjadinya Paparan Radiasi EMF dari BTS .....  | 10             |
| 3.                  | Diagram Alir Pengukuran dan Pemodelan.....            | 12             |
| 4.                  | Diagram Alir Nilai SAR dari BTS .....                 | 14             |
| 5.                  | Diagram Simpal Kausal nilai SAR dari Sebuah BTS ..... | 15             |
| 6.                  | Daya Density sebagai Fungsi dari Radius .....         | 18             |
| 7.                  | Kuat Medan Listrik sebagai Fungsi dari Radius .....   | 19             |
| 8.                  | SAR sebagai Fungsi dari Radius .....                  | 19             |
| =====               |   |                |

## **ABSTRAK**

*Setiap antena pemancar telepon selular BTS (Base Transceiver Station) memancarkan sinyal yang mengandung medan elektromagnetik. Medan elektromagnetik yang dipancarkan sebuah antena BTS memiliki radius 500 meter sampai dengan 2 km. Artinya masyarakat yang berada pada radius ini akan terpapar medan elektromagnetik yang besarnya akan semakin besar bila semakin dekat dengan antena BTS tersebut. Paparan medan elektromagnetik ini akan menimbulkan efek negatif terhadap kesehatan manusia yang akan baru dirasakan dalam selang waktu tertentu. 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 sangat beresiko terpapar medan elektromagnetik.. Penelitian ini mengukur besarnya SAR yang terpapar pada organ kepala manusia dari sebuah antena BTS pada berbagai sudut dan jarak, sehingga dengan bantuan perangkat lunak komputer dapat diperoleh sebuah model paparan.*

## I. PENDAHULUAN

### I.1. Latar Belakang

Tidak dapat dipungkiri bahwa peningkatan kesejahteraan masyarakat sangat didukung oleh teknologi komunikasi. Ilmu pengetahuan dan teknologi telah meningkatkan kualitas hidup masyarakat, suatu titik terang yang bermula pada suatu kesederhanaan pada kehidupan manusia, telah menjadi sesuatu yang lebih mudah untuk semua aspek kehidupan, berkat sesuatu yang bernama teknologi komunikasi. Konsumsi masyarakat yang semakin terus meningkat akan teknologi menjadikan dunia teknologi semakin lama semakin canggih, informatika yang dulunya memerlukan waktu yang lama dalam penyampaiannya kini dengan teknologi segalanya menjadi sangat dekat dan tanpa jarak. Kini, semua hal dalam kehidupan modern ini tidak akan bisa terlepas dari dunia teknologi, salah satunya adalah komunikasi.

Dunia teknologi komunikasi terus berkembang, mulai dari penggunaan alat komunikasi sederhana seperti telepon berkabel sampai dengan telepon tanpa kabel (nirkabel) yang dilengkapi dengan berbagai macam fasilitasnya. Nirkabel bekerja dengan menggunakan radiasi gelombang mikro yang dihasilkan oleh pemancar *Base Transceiver Station* (BTS).

BTS semakin banyak di lingkungan masyarakat sebagai akibat dari semakin luasnya penggunaan ponsel. BTS di Indonesia pada tahun 2009 berjumlah 3.437 unit, diantaranya merupakan jaringan 3G sedangkan sisanya adalah jaringan 2G, jumlah BTS terus meningkat dengan pesat, pada tahun 2011 jumlahnya berlipat ganda menjadi 6.530 buah dan tersebar di seluruh wilayah Indonesia, dari perkotaan hingga daerah pedalaman, melihat perkembangan yang sangat pesat ini maka menteri komunikasi dan informatika dibawah persetujuan presiden berusaha mengeluarkan peraturan yang bertujuan untuk menekan jumlah perkembangan BTS, dengan membuat kebijakan untuk perusahaan-perusahaan telekomunikasi yaitu penggunaan pemancar BTS bersama, satu BTS digunakan oleh banyak *provider* kemudian kebijakan ini akan diatur dalam undang-undang tentang telekomunikasi di Indonesia dan akan menjadi sebuah peraturan yang bertujuan untuk menekan perkembangan BTS pada tahun-tahun yang akan datang.

Sumatera Utara merupakan salah satu wilayah yang pesat berkembangnya *Base Transceiver Station*, pada tahun 2010 mencapai 2.080 buah BTS yang tersebar di setiap kota atau kabupatennya.

Medan merupakan salah satu kota yang ada di Sumatera Utara dan merupakan ibu kota Sumatera Utara menjadi kota yang menjadi urutan ke-3 jumlah BTS terbanyak di Indonesia, pada tahun 2010 di kota medan terdapat 20% dari jumlah total BTS 68.740 BTS.

Medan elektromagnetik yang menghasilkan gelombang elektromagnetik dari *Base Transceiver Station* (BTS) berpotensi menimbulkan berbagai gangguan, antara lain terhadap sistem darah, sistem kardiovaskuler, sistem saraf, sistem reproduksi serta dapat menyebabkan hipersensitifitas (Ikatan Dokter Indonesia, 2007), bahkan secara khusus Frey (1998) mengemukakan, bahwa timbulnya keluhan sakit kepala banyak dijumpai oleh para pemakai ponsel dan di daerah *Base Transceiver Station*.

Secara umum potensi gangguan kesehatan akibat radiasi elektromagnetik pada menara *Base Transceiver Station* (BTS) berupa efek jangka panjang, berupa potensi proses degeneratif dan keganasan (kanker) dan dalam waktu pendek akan mengakibatkan efek sensitifitas dengan berbagai manifestasinya (Grant, 2006).

Salah satu potensi gangguan kesehatan akibat BTS adalah timbulnya *Electrical sensitivity* atau dikenal pula dengan istilah *electrical hypersensitivity*, merupakan problem kesehatan masyarakat sebagai akibat pengaruh radiasi medan elektromagnetik, gangguan fisiologis yang ditandai dengan sekumpulan gejala neurologis dan kepekaan (sensitifitas) terhadap medan elektromagnetik (Anies, 2005). Penyebab timbulnya berbagai keluhan tersebut sangat kompleks seperti sakit kepala (*headache*), gangguan tidur (*insomnia*), gangguan konsentrasi (*difficulty in concentrating*), keletihan yang konstan atau menahun (*chronic fatigue syndrome*), sakit pada otot (*pain in muscles*), mual (*nausea*), berdebar-debar (*tachycar*), depresi (*depression*), telinga berdenging (*tinnitus*), kebingungan (*confusion*), muka serasa kebakar (*facial flushing*) dan hal ini dapat disebabkan karena penyebab organik maupun psikologis. Gangguan Hipersensitifitas ini diakibatkan karena terganggunya metabolisme melatonin didalam tubuh, hipersensitifitas tersebut timbul bila produksi hormon melatonin berkurang (Lewy, 1992), produksi hormon ini berkurang oleh adanya



rangsangan dari luar, misalnya cahaya, bising serta medan elektromagnetik. Cahaya maupun pajanan medan elektromagnetik dapat menurunkan produksi hormon melatonin dan berpotensi menimbulkan berbagai keluhan penyakit (Hawkins, 2010).

## **I.2. Perumusan Masalah**

Medan elektromagnetik bukan saja ditimbulkan oleh telepon selular (ponsel) tetapi juga hubungan antar sub-sistim antara MSC (*Mobile Switching Centre*) dengan BSC (*Base Station Controller*), antara BSC dengan BTS (*Base Transceiver Station*), dan antara BTS dengan MS (*Mobile Station/telepon selular*). Besarnya daya (energi) yang dipancarkan antena-antena BTS tergantung kepada luas daerah yang akan dicakup (*coverage area*) oleh sinyal BTS tersebut, sehingga operator cenderung memperbesar daya pancar BTS untuk mendapatkan luas cakupan yang besar, akibatnya paparan radiasi medan elektromagnetik yang ditimbulkannya juga akan semakin besar.

Paparan radiasi medan elektromagnetik ini terjadi pada hubungan link radio antara MSC-BSC, BSC-BTS, dan BTS-MS. Antena-antena ini dibangun dengan menara yang tinggi dan banyak terdapat pada daerah-daerah pemukiman bahkan banyak terdapat di atas rumah-rumah masyarakat, gedung-gedung perkantoran, pusat perbelanjaan, dan lain-lain. Antena-antena transceiver operator telepon selular juga banyak terdapat di dalam pusat-pusat perbelanjaan baik di lantai-lantai atas maupun pada basement gedung yang disebut juga dengan antena micro atau antena pico.

Di Kota Medan beroperasi lebih dari 7 operator telepon selular, yaitu Telkomsel, Excelcomindo, exis, Indosat, Smart, Telkom, Esia, dan lain-lain yang kesemuanya memiliki antena BTS masing-masing tanpa ada koordinasi diantara operator dan juga tidak ada kordinasi dari pemerintah, sehingga setiap operator mendirikan antena BTS semaunya pad tempat yang mereka anggap potensial. Akibatnya kota Medan dipenuhi oleh antena BTS yang menjulang tinggi dan antena BTS yang banyak terdapat diatas ruko, sekolah, pusat perbelanjaan, bahkan di Rumah Sakit, artinya pembangunan BTS tidak memperhatikan faktor lingkungan hidup.

Seberapa besar dan luas paparan radiasi gelombang medan elektromagnetik pada sebuah antena BTS, hal in perlu diketahui karena

keberadaan manusia dan makhluk hidup lainnya pada radius pancar antenna BTS khususnya yang tinggal secara permanen disekitar antenna BTS akan memiliki resiko SAR yang lebih besar.

Berdasarkan uraian di atas perlu dilakukan pemodelan paparan radiasi yang diserap oleh organ kepala manusia dalam radius pancaran antenna BTS tersebut dengan mengambil sample antenna BTS PT. Telkomsel yang berlokasi di atas gedung kantor PT. Telkomsel di Jalan Amir Hamzah, Medan.

### **I.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari pemodelan ini adalah untuk memperoleh solusi atas permasalahan paparan medan elektromagnetik dari gelombang radio yang bersumber dari antenna BTS terhadap makhluk hidup dalam radius pancarannya. Penelitian ini akan menghasilkan sebuah model SAR pada organ kepala manusia pada titik-titik tertentu dalam radius pancaran dari sebuah Antena BTS PT. Telkomsel.

### **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 kelingkungannya tanpa membutuhkan medium tertentu seperti perambatan panas, cahaya, dan gelombang radio.

Jaringan telepon selular menggunakan gelombang radio dalam melakukan komunikasi dengan telepon selular (*handphone*). Gelombang radio tersebut memiliki medan elektromagnetik yang mengandung medan listrik dan medan magnet.

Medan elektromagnetik (EMF) dipancarkan melalui antena BTS (*Base Transceiver Station*) yang sering dipasang pada menara (*tower*) yang tinggi. Sinyal medan elektromagnetik dari antena BTS dapat mencakup radius beberapa kilometer tergantung dari besarnya daya yang dipancarkan antena BTS tersebut. Untuk mencakup (*cover*) satu kota bisa dibutuhkan puluhan antena BTS, sementara banyak operator yang membuka jaringannya di kota Medan sehingga bila 5 operator telepon selular di kota Medan dan setiap operator memasang 30 antena maka jumlah antena BTS di kota Medan sebanyak 150 buah.

Satu antena BTS sering digunakan untuk memancarkan daya sebesar 200 – 1000 watt tergantung dari luas area yang akan dicakup, semakin besar daya yang dipancarkan maka semakin luas daerah yang dapat dicakup sinyal tersebut.

Dalam jumlah tertentu, gelombang medan elektromagnetik akan menjadi masalah bagi lingkungan hidup yang di dalamnya termasuk manusia, hewan, dan tumbuhan.

### II.1. Pencemar Elektro (*Electro Pollution*)

Menurut Kementerian Teknologi Informasi dan Komunikasi dari Departemen Telekomunikasi Negara India, radiasi medan elektromagnetik dimasukkan dalam jenis polutan yang baru, disebut dengan *electro pollution*. Hal ini karena energi yang dipancarkan oleh antena BTS mempengaruhi kadar energi dan keterikatan struktur komponen-komponen di udara.

## II.2. Pengaruh Gelombang EMF terhadap Mahluk Hidup

Secara garis besar radiasi gelombang elektromagnetik terbagi 2 (dua) kelompok 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 (*India*) menyebutkan adanya ancaman kanker untuk remaja dan anak-anak karena radiasi medan elektromagnetik dari jaringan telepon selular, dia juga mengatakan bahaya radiasi juga terdapat disekitar menara *Base Transceiver Station* (BTS). Berikut kutipannya “Satu BTS bisa memancarkan daya 50-100 Watt. Negara yang punya banyak operator selular seperti India bisa terpapar daya hingga 200-400 Watt. Medan elektromagnetik di sekitar BTS juga berdampak pada lingkungan hidup. Burung dan lebah juga mengalami disorientasi atau kehilangan arah sehingga mudah stress karena tidak bisa menemukan jalan pulang ke sarang mereka”.

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

Paparan gelombang medan elektromagnetik juga akan memiliki efek kepada kehidupan lingkungan lainnya, oleh sebab itu radiasi gelombang medan elektromagnetik **saat ini dimasukkan sebagai pulutan dalam pengelolaan lingkungan hidup yang disebut dengan “Electro Pollution”**

Menurut laporan kementerian India tersebut, pada jarak sampai 500 meter dari antenna BTS dapat mengakibatkan ancaman bagi kelangsungan kehidupan populasi satwa burung dan juga menghilangnya kupu-kupu, lebah dan serangga lainnya dari habitatnya di sekitar antenna BTS. Menurut laporan ini juga, burung-burung kehilangan kemampuan navigasinya akibat mengalami disorientasi dalam menentukan arah sehingga burung-burung tersebut salah arah untuk kembali ke sarangnya.

Paparan radiasi gelombang elektromagnetik yang paling sering terkena manusia adalah yang bersumber dari sinar matahari, sinyal televisi, dan gelombang radio, dari ketiga sumber paparan medan elektromagnetik ini yang memiliki tingkat paparan radiasi yang sering berubah-ubah adalah yang bersumber dari gelombang radio. Disamping itu temperatur disekitas BTS cenderung lebih tinggi dibandingkan pada daerah yang jauh dari BTS, dan dalam journal IEEE tanggal 19 April 2006 menyebutkan bahwa setiap kenaikan SAR sebesar 0.4 Watt/Kg akan menaikkan suhu yang sama dengan suhu udara ambien sebesar 1,5<sup>o</sup> C.

Sedangkan menurut NPRB (*The National Radiological Protection Board*) UK, Inggris, efek yang ditimbulkan oleh radiasi gelombang elektromagnetik dari jaringan telepon selular dibagi menjadi dua, yaitu :

1. **Efek fisiologis**, merupakan efek yang ditimbulkan oleh radiasi gelombang elektromagnetik yang mengakibatkan gangguan pada organ-organ tubuh manusia berupa kanker otak dan pendengaran, tumor, perubahan pada jaringan mata termasuk retina dan lensa mata, gangguan pada reproduksi, hilang ingatan, pusing kepala.

2. **Efek psikologi**, merupakan efek kejiwaan yang ditimbulkan oleh radiasi tersebut misalnya stress dan ketidaknyamanan karena terkena radiasi berulang-ulang.

### **II.3. Paparan radiasi EMF pada Lingkungan Hidup**

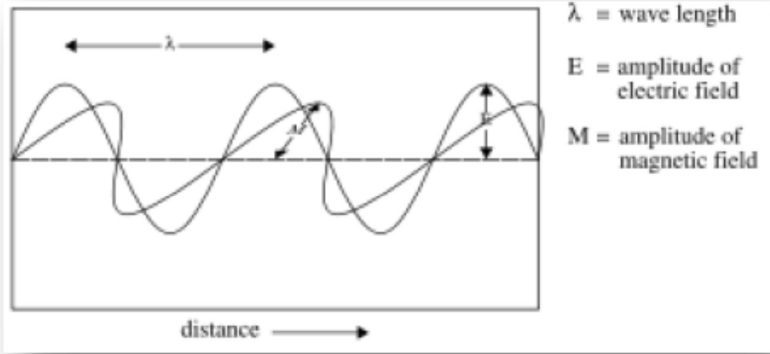
Setiap operator telepon selular berlomba-lomba untuk dapat melayani seluruh penduduk khususnya yang berada pada tempat-tempat yang ramai seperti pemukiman penduduk, perumahan, pusat-pusat perbelanjaan, sekolah-sekolah, perkantoran, hotel-hotel, pusat hiburan, dan rumah sakit. Untuk hal tersebut banyak antenna-antena BTS yang dipasang pada tempat-tempat tersebut, baik yang dipasang berupa menara-menara besar dan tinggi maupun antenna dengan menara-menara kecil. Tempat pemasangan antenna tersebut tidak memperdulikan kerapatan antenna BTS antar operator, maupun tidak memperhatikan lingkungan hidup yang rentan terhadap EMF tersebut seperti sekolah-sekolah, rumah sakit, dan habitat dari hewan serangga. Bisa kita bayangkan bila pada satu lokasi terdapat 4 sampai 5 antenna BTS dengan daya pancar 500 watt, maka efek yang ditimbulkannya juga akan semakin besar.

### **II.4. Baku Mutu Paparan Radiasi EMF terhadap Manusia**

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/m<sup>2</sup> dan berdasarkan besarnya paparan radiasi yang diserap oleh tubuh manusia yang dinyatakan dengan **SAR** (*Specific Absorption Rate*) dalam satuan W/Kg. ICNIRP dan IEEE menetapkan batas ambang untuk kerapatan daya pada frekuensi 900 MHz. adalah sebesar 4,5 W/m<sup>2</sup> dan pada frekuensi 1.800 MHz. adalah 9 W/m<sup>2</sup> (IEEE Std C95.1, 1999) sedangkan batas ambang nilai SAR (untuk 1 gram) adalah 1,6 W/Kg. Pada beberapa Negara, nilai batas ambang ini ditetapkan lebih kecil dari pada yang ditetapkan oleh WHO.

Gelombang elektromagnetik merupakan gelombang transversal (Gambar 1.), terbentuk dari medan magnet dan medan listrik yang bergetar dalam arah yang saling tegak lurus (*hukum Faraday*). Gelombang ini merambat dengan kecepatan yang nilainya ditentukan oleh dua besaran yaitu permitivitas listrik

dan permeabilitas magnetik, kecepatan rambatnya dalam ruang hampa udara mendekati  $3 \times 10^8$  m/s.



Gambar 1. Gelombang Medan Elektromagnetik

Besarnya daya yang dipancarkan melalui antena BTS, BSC, MSC akan menghasilkan kerapatan daya pada sepanjang daerah yang dilalui sinyal dari antena tersebut yang dinyatakan dengan rumus (1)

$$P_D = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \dots\dots\dots 1)$$

- dengan,
- $P_D$  = Kerapatan daya (Watt/m<sup>2</sup>)
- $P_t$  = Daya keluaran pemancar (Watt)
- $G_t$  = Gain antena
- $R$  = Jarak antena dengan daerah titik x (m)

Besarnya medan magnet atau medan listrik yang dihasilkan tergantung dari besarnya kerapatan daya pada daerah tersebut yang hubungannya dinyatakan dengan rumus (2).

$$P_D = E^2/377 = 377 H^2 \dots\dots\dots 2)$$

- dengan,
- $P_D$  adalah kerapatan daya atau power density (watt/m<sup>2</sup>)
- $E$  adalah kuat medan listrik (V/m)
- $H$  adalah kuat medan magnet (A/m)
- 377 adalah impedansi pada ruang bebas dalam  $\Omega$

Besarnya paparan radiasi yang diserap oleh tubuh manusia dinyatakan dengan **SAR** (*Spesific Absortion Rate*). ICNIRP menetapkan level batas radiasi SAR adalah 1.6 W/Kg. Hubungan SAR dengan kuat medan listrik adalah seperti pada rumus (3) di bawah ini,

$$SAR = \frac{\sigma |E^2|}{\rho} \dots\dots\dots 3)$$

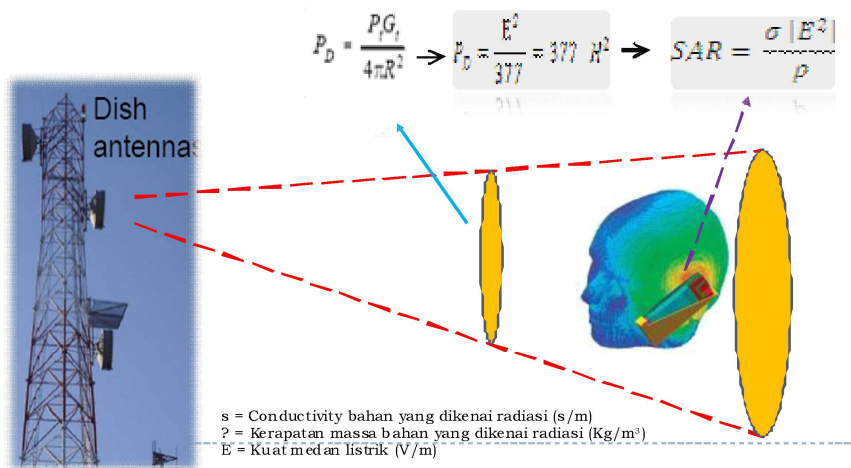
dengan,

$\sigma$  = Conductivity bahan yang dikenai radiasi (s/m)

$\rho$  = Kerapatan massa bahan yang dikenai radiasi (Kg/m<sup>3</sup>)

E = Kuat medan listrik (V/m)

Setiap sinyal yang dipancarkan melalui antenna pemancar BTS (*Base Transceiver Station*) dari operator telepon selular akan menghasilkan medan elektromagnetik. Orang yang berada pada suatu titik tertentu akan terpapar radiasi medan elektromagnetik yang dapat diukur dengan besaran kerapatan daya (Power density) dan radiasi yang diserap oleh tubuh dinyatakan dengan SAR. Besarnya kerapatan daya dan SAR diharapkan tidak melampaui batas ambang yang ditetapkan oleh ICNIRP dan IEEE karena akan dapat menimbulkan efek psikologi dan fisiologis terhadap manusia. Secara garis besar hubungan tersebut dapat digambarkan seperti yang pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses Terjadinya Paparan Radiasi EMF dari BTS



### III. METODOLOGI PENELITIAN

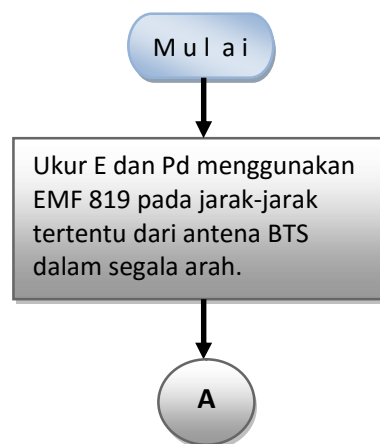
Penelitian ini mengambil sample sebuah antenna BTS milik PT. Telkomsel yang berlokasi di atas gedung kantor PT. Telkomsel di Jalan Amir Hamzah, Medan. Alat ukur yang digunakan adalah alat ukur medan elektromagnetik merek Lutron tipe EMF 819 yang dapat mengukur besarnya Kuat Medan Listrik atau Kerapatan Daya (Power Density).

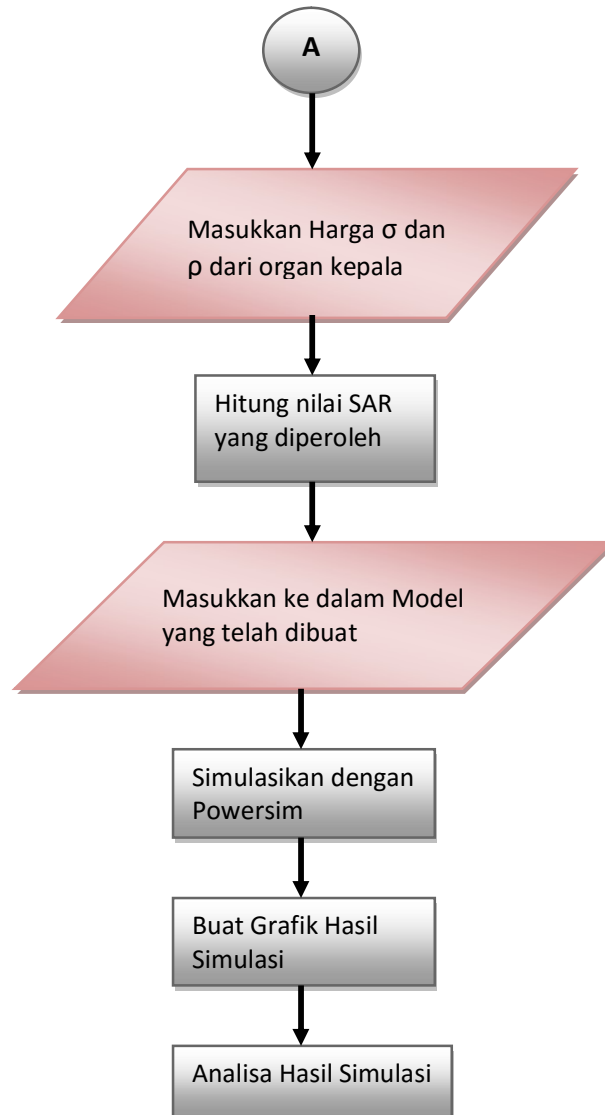
Pengukuran dilakukan dengan mengukur besarnya kuat medan listrik atau kerapatan daya (power density) pada titik-titik dengan jarak tertentu dari antenna BTS dalam radius pancarannya.

Setiap pengukuran dilakukan 5 kali pada satu titik lokasi, hasilnya akan dikonversi kedalam SAR dengan memasukkan parameter listrik dari beberapa bagian organ kepala manusia.

Model SAR untuk implementasi ini akan dibuat dengan bantuan perangkat lunak Powersim dengan terlebih dahulu membuat simpal kausal dan kemudian membuat diagram alirnya. Model ini akan disimulasikan untuk berbagai jarak lokasi pengukuran dalam radius pancar antenna BTS dan dengan berbagai besarnya daya pancar BTS.

Secara keseluruhan tahap pemodelan yang akan dilakukan seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3.





Gambar 3. Diagram Alir Pengukuran dan Pemodelan

Dari hasil pengukuran yang diperoleh, maka pemodelan dilakukan dengan menggunakan Powersim, sehingga dapat terlihat besarnya SAR dari berbagai jarak dari antenna BTS.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemancar dari operator telepon selular memiliki daya sebesar 20 Watt, dipancarkan melalui antena BTS (Base Transceiver Station) dengan penguatan (gain) antena sebesar 18 dB dan losses (rugi-rugi daya) yang terjadi disepanjang saluran diasumsikan sebesar 6 dB, sedangkan jumlah sinyal carrier yang digunakan sebanyak 3 kanal. Maka besarnya paparan radiasi medan elektromagnetik yang diterima otak manusia yang berada disepanjang radius 500 meter dari antena BTS dengan nilai konduktivitas cairan otak 2,2380 (s/m) dan kerapatan massa cairan otak 1010 (Kg/m<sup>3</sup>) adalah sebagai berikut :

Penguatan yang terjadi pada perangkat antena BTS adalah : Gain antena – Losses saluran antena = 18 dB – 6 dB = 12 dB.

Sehingga besarnya daya keluaran (EIRP-*Effective Isotropically Radiated Power*) antena BTS :

$$10 \text{ Log } \frac{X}{20} = 12 \text{ dB}$$

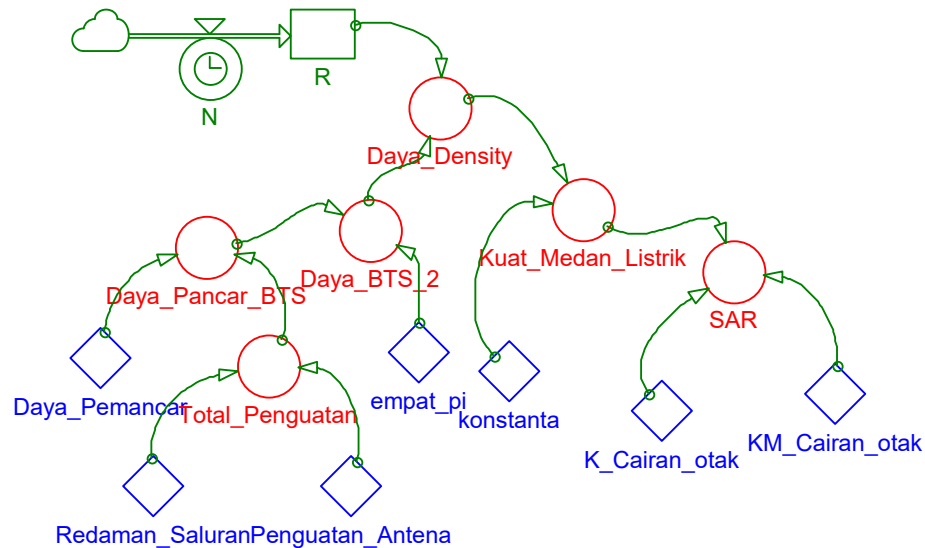
$X = 20 \times 10^{1,2} = 316$  watt untuk 1 kanal,

maka untuk ke 3 kanal, BTS memancarkan  $3 \times 316$  watt = 948 Watt.

Dengan memasukkan daya pancar tersebut ke rumus 1,2, dan 3 maka diperoleh besarnya paparan radiasi medan elektromagnetik yang diserap oleh otak manusia pada beberapa jarak dari antena BTS.

Dengan menggunakan perangkat lunak Powersim, maka dapat digambarkan diagram alir serta simpal kausal dari model SAR dari BTS tersebut sebagai berikut :

## Diagram Alir



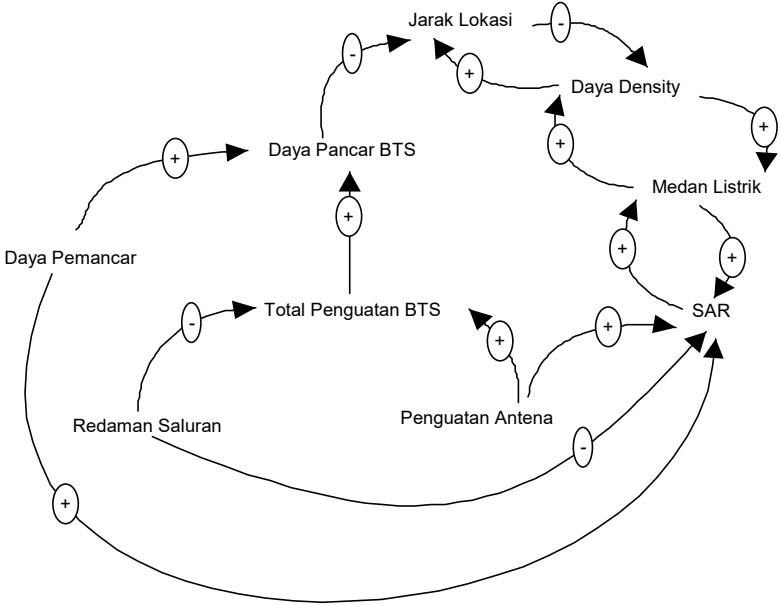
Gambar 4. Diagram Alir nilai SAR dari BTS

### Dalam Bentuk Persamaan

```

init      R = 1
flow     R = +dt*N
aux      N = PULSE(1,1,1)
aux      Daya_BTS_2 = Daya_Pancar_BTS/empat_pi
aux      Daya_Density = Daya_BTS_2*(1/R^2)
aux      Daya_Pancar_BTS = Daya_Pemancar*10^(Total_Penguatan/10)*3
aux      Kuat_Medan_Listrik = SQRT(Daya_Density*konstanta)
aux      SAR = (K_Cairan_otak*Kuat_Medan_Listrik^2)/KM_Cairan_otak
aux      Total_Penguatan = Penguatan_Antena-Redaman_Saluran
const   Daya_Pemancar = 20
const   empat_pi = 4*3.17
const   K_Cairan_otak = 2.2380
const   KM_Cairan_otak = 1010
const   konstanta = 377
const   Penguatan_Antena = 18
const   Redaman_Saluran = 6
  
```

**Simpul Kausal**



Gambar 5. Diagram Simpul Kausal nilai SAR dari sebuah BTS

Untuk mensimulasikannya, maka seluruh rumus 1,2, dan 3 serta besaran-besaran yang diketahui dimasukkan ke dalam diagram alir serta pada simpul kausal.

Hasil simulasi yang dilakukan seperti pada Tabel 1. dimana terlihat bahwa besarnya daya density, kuat medan listrik dan nilai SAR dipengaruhi oleh jarak dari antenna BTS. Semakin dekat dengan antenna maka paparan medan elektromagnetik yang diserap oleh otak semakin besar.

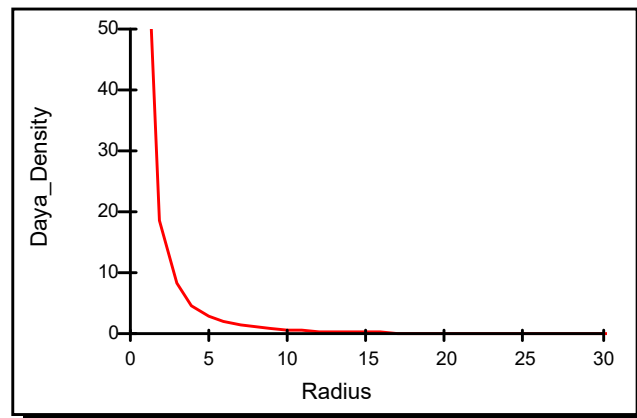
Tabel 1. Hasil Simulasi dengan Powersim terhadap besarnya Daya Density, Kuat Medan Listrik, dan Nilai SAR sebagai fungsi dari Radius Pancaran BTS

| Time | R     | Daya Density | Kuat Medan Listrik | SAR    |
|------|-------|--------------|--------------------|--------|
| 0    | 1,00  | 74,99        | 168,15             | 775,36 |
| 1    | 1,00  | 74,99        | 168,15             | 775,36 |
| 2    | 2,00  | 18,75        | 84,07              | 193,84 |
| 3    | 3,00  | 8,33         | 56,05              | 86,15  |
| 4    | 4,00  | 4,69         | 42,04              | 48,46  |
| 5    | 5,00  | 3,00         | 33,63              | 31,01  |
| 6    | 6,00  | 2,08         | 28,02              | 21,54  |
| 7    | 7,00  | 1,53         | 24,02              | 15,82  |
| 8    | 8,00  | 1,17         | 21,02              | 12,11  |
| 9    | 9,00  | 0,926        | 18,68              | 9,57   |
| 10   | 10,00 | 0,75         | 16,81              | 7,75   |
| 11   | 11,00 | 0,62         | 15,29              | 6,41   |
| 12   | 12,00 | 0,521        | 14,01              | 5,38   |
| 13   | 13,00 | 0,444        | 12,93              | 4,59   |
| 14   | 14,00 | 0,383        | 12,01              | 3,96   |
| 15   | 15,00 | 0,333        | 11,21              | 3,45   |
| 16   | 16,00 | 0,293        | 10,51              | 3,03   |
| 17   | 17,00 | 0,259        | 9,89               | 2,68   |
| 18   | 18,00 | 0,231        | 9,34               | 2,39   |
| 19   | 19,00 | 0,208        | 8,85               | 2,15   |
| 20   | 20,00 | 0,187        | 8,41               | 1,94   |
| 21   | 21,00 | 0,17         | 8,01               | 1,76   |
| 22   | 22,00 | 0,155        | 7,64               | 1,60   |
| 23   | 23,00 | 0,142        | 7,31               | 1,47   |
| 24   | 24,00 | 0,13         | 7,01               | 1,35   |
| 25   | 25,00 | 0,12         | 6,73               | 1,24   |
| 26   | 26,00 | 0,111        | 6,47               | 1,15   |
| 27   | 27,00 | 0,103        | 6,23               | 1,06   |
| 28   | 28,00 | 0,0957       | 6,01               | 0,989  |
| 29   | 29,00 | 0,0892       | 5,80               | 0,922  |
| 30   | 30,00 | 0,0833       | 5,60               | 0,862  |
| 31   | 31,00 | 0,078        | 5,42               | 0,807  |
| 32   | 32,00 | 0,0732       | 5,25               | 0,757  |
| 33   | 33,00 | 0,0689       | 5,10               | 0,712  |
| 34   | 34,00 | 0,0649       | 4,95               | 0,671  |
| 35   | 35,00 | 0,0612       | 4,80               | 0,633  |
| 36   | 36,00 | 0,0579       | 4,67               | 0,598  |
| 37   | 37,00 | 0,0548       | 4,54               | 0,566  |
| 38   | 38,00 | 0,0519       | 4,42               | 0,537  |
| 39   | 39,00 | 0,0493       | 4,31               | 0,51   |
| 40   | 40,00 | 0,0469       | 4,20               | 0,485  |

| Time | R     | Daya Density | Kuat Medan Listrik | SAR   |
|------|-------|--------------|--------------------|-------|
| 41   | 41,00 | 0,0446       | 4,10               | 0,461 |
| 42   | 42,00 | 0,0425       | 4,00               | 0,44  |
| 43   | 43,00 | 0,0406       | 3,91               | 0,419 |
| 44   | 44,00 | 0,0387       | 3,82               | 0,40  |
| 45   | 45,00 | 0,037        | 3,74               | 0,383 |
| 46   | 46,00 | 0,0354       | 3,66               | 0,366 |
| 47   | 47,00 | 0,0339       | 3,58               | 0,351 |
| 48   | 48,00 | 0,0325       | 3,50               | 0,337 |
| 49   | 49,00 | 0,0312       | 3,43               | 0,323 |
| 50   | 50,00 | 0,03         | 3,36               | 0,31  |
| 51   | 51,00 | 0,0288       | 3,30               | 0,298 |
| 52   | 52,00 | 0,0277       | 3,23               | 0,287 |
| 53   | 53,00 | 0,0267       | 3,17               | 0,276 |
| 54   | 54,00 | 0,0257       | 3,11               | 0,266 |
| 55   | 55,00 | 0,0248       | 3,06               | 0,256 |
| 56   | 56,00 | 0,0239       | 3,00               | 0,247 |
| 57   | 57,00 | 0,0231       | 2,95               | 0,239 |
| 58   | 58,00 | 0,0223       | 2,90               | 0,23  |
| 59   | 59,00 | 0,0215       | 2,85               | 0,223 |
| 60   | 60,00 | 0,0208       | 2,80               | 0,215 |
| 61   | 61,00 | 0,0202       | 2,76               | 0,208 |
| 62   | 62,00 | 0,0195       | 2,71               | 0,202 |
| 63   | 63,00 | 0,0189       | 2,67               | 0,195 |
| 64   | 64,00 | 0,0183       | 2,63               | 0,189 |
| 65   | 65,00 | 0,0178       | 2,59               | 0,184 |
| 66   | 66,00 | 0,0172       | 2,55               | 0,178 |
| 67   | 67,00 | 0,0167       | 2,51               | 0,173 |
| 68   | 68,00 | 0,0162       | 2,47               | 0,168 |
| 69   | 69,00 | 0,0158       | 2,44               | 0,163 |
| 70   | 70,00 | 0,0153       | 2,40               | 0,158 |
| 71   | 71,00 | 0,0149       | 2,37               | 0,154 |
| 72   | 72,00 | 0,0145       | 2,34               | 0,15  |
| 73   | 73,00 | 0,0141       | 2,30               | 0,145 |
| 74   | 74,00 | 0,0137       | 2,27               | 0,142 |
| 75   | 75,00 | 0,0133       | 2,24               | 0,138 |
| 76   | 76,00 | 0,013        | 2,21               | 0,134 |
| 77   | 77,00 | 0,0126       | 2,18               | 0,131 |
| 78   | 78,00 | 0,0123       | 2,16               | 0,127 |
| 79   | 79,00 | 0,012        | 2,13               | 0,124 |
| 80   | 80,00 | 0,0117       | 2,10               | 0,121 |
| 81   | 81,00 | 0,0114       | 2,08               | 0,118 |
| 82   | 82,00 | 0,0112       | 2,05               | 0,115 |
| 83   | 83,00 | 0,0109       | 2,03               | 0,113 |
| 84   | 84,00 | 0,0106       | 2,00               | 0,11  |
| 85   | 85,00 | 0,0104       | 1,98               | 0,107 |

|     |        |         |      |        |
|-----|--------|---------|------|--------|
| 86  | 86,00  | 0,0101  | 1,96 | 0,105  |
| 87  | 87,00  | 0,00991 | 1,93 | 0,102  |
| 88  | 88,00  | 0,00968 | 1,91 | 0,10   |
| 89  | 89,00  | 0,00947 | 1,89 | 0,0979 |
| 90  | 90,00  | 0,00926 | 1,87 | 0,0957 |
| 91  | 91,00  | 0,00906 | 1,85 | 0,0936 |
| 92  | 92,00  | 0,00886 | 1,83 | 0,0916 |
| 93  | 93,00  | 0,00867 | 1,81 | 0,0896 |
| 94  | 94,00  | 0,00849 | 1,79 | 0,0877 |
| 95  | 95,00  | 0,00831 | 1,77 | 0,0859 |
| 96  | 96,00  | 0,00814 | 1,75 | 0,0841 |
| 97  | 97,00  | 0,00797 | 1,73 | 0,0824 |
| 98  | 98,00  | 0,00781 | 1,72 | 0,0807 |
| 99  | 99,00  | 0,00765 | 1,70 | 0,0791 |
| 100 | 100,00 | 0,0075  | 1,68 | 0,0775 |

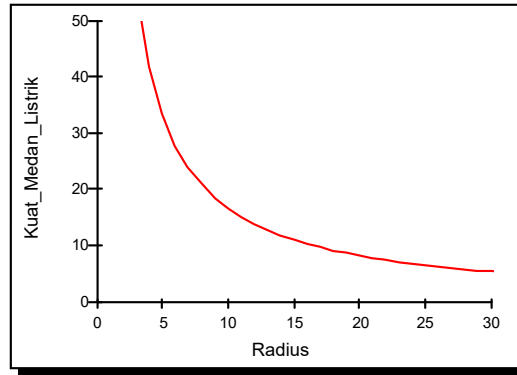
Dari Tabel 1 . di atas terlihat bahwa SAR yang terbesar terjadi pada daerah yang dekat sekali dengan antenna BTS yaitu pada jarak 0 sampai dengan 21 meter, sedangkan pada jarak 22 meter adalah batas ambang atas SAR yang ditetapkan oleh WHO yaitu sebesar 1,6 Watt/Kg . Pada jarak 100 meter dari antenna BTS, nilai SAR adalah 0,0775 Watt/Kg. Disini terlihat semakin jauh dari antenna maka besarnya nilai SAR akan semakin kecil.



Gambar 6. Daya Density sebagai Fungsi dari Radius

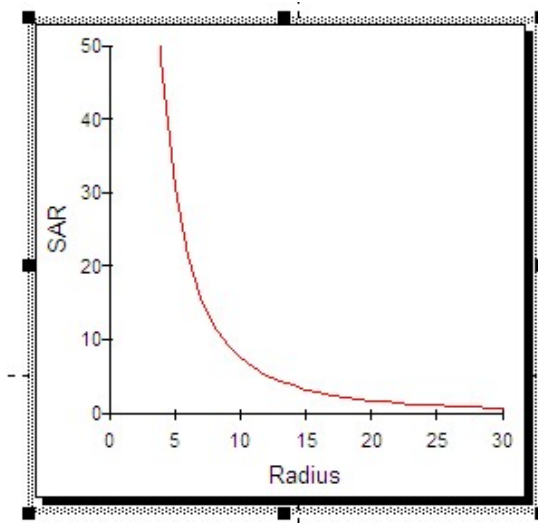
Gambar 6. Memperlihatkan bahwa daya density dipengaruhi oleh jarak/radius, semakin dekat dengan antenna BTS maka semakin besar daya density yang diukur dalam watt/m<sup>2</sup>





Gambar 7. Kuat Medan Listrik sebagai Fungsi dari Radius

Gambar 7. Memperlihatkan bahwa kuat medan listrik dipengaruhi oleh jarak/radius, semakin dekat dengan antenna BTS maka semakin besar kuat medan listriknya yang diukur dalam V/m, terlihat pada jarak 30 meter masih memiliki kuat medan listrik sebesar 5 V/m



Gambar 8. SAR sebagai Fungsi dari Radius

Gambar 8. Memperlihatkan bahwa besarnya SAR (Specific Absorption Rate) dipengaruhi oleh jarak/radius, semakin dekat dengan antenna BTS maka semakin besar nilai SAR yang diukur dalam watt/Kg. Nilai SAR yang dimodelkan ini adalah untuk cairan otak yang memiliki konduktivitas 2,2380 (s/m) dan kerapatan massa 1010 (Kg/m<sup>3</sup>).

## 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 BTS dengan organ kepala.
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 dan telah melampaui batas ambang yang ditetapkan oleh WHO melalui ICNRP adalah pada jarak 0 sampai dengan 21 meter dari antena BTS dengan daya pancar 20 watt dan gain antena sebesar 18 dB dan loss pada saluran antena sebesar 6 dB.
4. Semua pengukuran yang dilakukan berdasarkan massa untuk satu sel organ CSF dengan berat 1 gram organ tersebut sebagaimana yang digunakan sebagai penentuan batas ambang nilai SAR yang ditetapkan oleh WHO.
5. Dengan Model yang dibuat dengan bantuan perangkat lunak Powersim, dapat digunakan untuk menghitung nilai SAR pada antena BTS yang lain.

## 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.