

## RADIASI MEDAN ELEKTROMAGNETIK KABEL BROADBAND ADSL PADA TUBUH MANUSIA

NOVY HAPSARI

Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Indonesia  
Jl. Raya Puspiptek Serpong, Tangerang Selatan, Banten

**Abstrak.** Teknologi komunikasi broadband semakin banyak diminati karena kemampuan, kecepatan dan kapasitas besar yang ditawarkan, dimana teknologinya tidak lepas dari penggunaan sinyal frekuensi tinggi. Sinyal pada frekuensi tinggi tersebut menimbulkan radiasi medan elektromagnetik ke lingkungan sekitarnya, termasuk tubuh manusia. Pengaruh tersebut diantaranya menimbulkan berbagai penyakit seperti penyakit ayan, migren, penyakit telinga, mata bahkan penyakit kanker [11, 12]. Penelitian ini dilakukan untuk mengobservasi pengaruh radiasi medan elektromagnetik kabel broadband terhadap manusia berdasarkan standar IEEE C95.1 tahun 1999. Penelitian dilakukan dengan mengukur radiasi kabel broadband yang diwakili oleh kabel ADSL pada layanan internet Speedy kapasitas 1 Mbps dengan menggunakan alat ukur absorbing clamp yang terintegrasi pada conducted emission test system. Nilai radiasi yang ditimbulkan, masih dalam batas aman atau tidak, diukur menggunakan parameter power density, dimana nilai tersebut dapat diperoleh dengan mengukur daya yang diterima oleh sistem yang selanjutnya dibandingkan antara hasil pengukuran dengan standar IEEE C.95.1. Hasil dari pengukuran diperoleh bahwa nilai radiasi terbesar terjadi pada frekuensi 141,262 MHz dengan nilai  $(-97,87 \pm 0,33)$  dBmW/cm<sup>2</sup>. Nilai radiasi tersebut masih jauh lebih kecil dibawah syarat standar IEEE C95.1, yaitu  $(0 \pm 00)$  dBmW/cm<sup>2</sup>. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa keberadaan radiasi yang dihasilkan oleh kabel broadband masih berada dalam batas aman jika radiasi ini terserap oleh tubuh.

**Kata kunci:** Medan elektromagnetik, Broadband, Asynchronous Digital Subscriber Line (ADSL), Power Density.

### PENDAHULUAN

Semakin banyaknya jumlah pengguna komunikasi data dengan kecepatan yang tinggi dan kapasitas yang besar saat ini telah mendorong penelitian ini. Komunikasi data dengan kecepatan dan kapasitas tinggi ini dikenal sebagai *broadband*. Teknologi *broadband* banyak digunakan oleh penyedia jasa internet, dimana salah satu penyedia jasa internet terbesar adalah *Speedy* milik PT.Telkom Indonesia. Kabel *broadband* ini banyak terdapat pada setiap rumah ataupun setiap warung internet (warnet) yang menggunakan layanan internet di dalamnya.

Kecepatan dan kapasitas yang sangat tinggi pada kabel *broadband* tidak lepas dari transmisi frekuensi tinggi di dalam kabel tersebut. Kita ketahui bahwa frekuensi tinggi ini akan menghasilkan radiasi medan elektromagnetik (EM) di sekitarnya. Semakin banyaknya jumlah kabel *broadband* yang ada tentunya akan meningkatkan intensitas radiasi EM ke lingkungan sekitar. Keberadaan radiasi EM ini akan sangat membahayakan jika secara terus menerus diserap oleh tubuh manusia.

Penelitian yang dilakukan oleh *Australian Health Research Institute* mengindikasikan bahwa semakin meningkatnya milyaran volume radiasi elektromagnetik, hal tersebut akan mengakibatkan manusia terkena penyakit-penyakit seperti penyakit telinga, mata dan kanker otak, disamping penyakit utama lainnya seperti sakit jantung, impotensi, migren dan ayan [Benson, 2007]

Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis radiasi medan EM pada kabel komunikasi *broadband*. Selanjutnya, hasil dari pengukuran ini akan dihitung besaran-besaran radiasinya seperti frekuensi dan *power density* (S) serta membandingkannya dengan standar IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) C95.1- 1999 untuk menjadi batasan paparan radiasi terhadap manusia dan akan menunjukkan apakah besarnya radiasi EM ini masih dalam batas aman untuk diserap tubuh atau tidak. [IEEE, 2006]

## TINJAUAN PUSTAKA

### Kabel Komunikasi *Broadband*

Teknologi *broadband* memberikan kecepatan transmisi data yang sangat tinggi dan kapasitas data yang sangat besar. Hal ini memungkinkan kita dapat mentransmisikan sinyal informasi baik berupa *text*, *audio*, dan *video* (*Tripleplay*) secara bersamaan pada satu jalur transmisi. Penggunaan jalur transmisi ini dapat dibedakan menjadi kabel *broadband* dan kabel DSL *broadband* yang menumpang pada kabel telepon rumah.

### Kabel *Broadband*

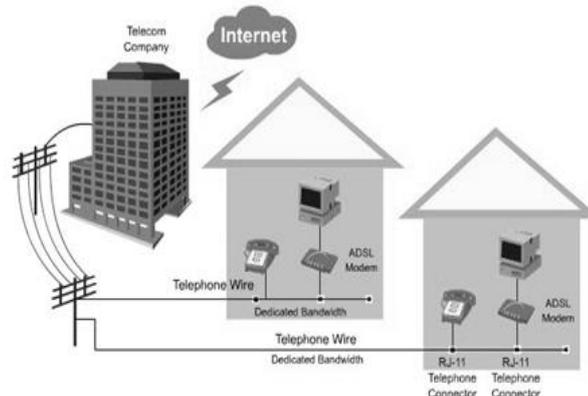
Tidak seperti layanan ADSL, layanan kabel *broadband* tidak menumpang pada kabel telepon, tetapi dialirkan pada kabel koaksial yang terhubung pada kabel pusat di pinggir jalan. Layanan kabel *broadband* dapat dibagi-bagi sesuai kebutuhan, sebagai contoh kabel *broadband* dapat digunakan untuk menerima data pada televisi digital.

Laju data pengiriman dengan kabel *broadband* dapat mencapai 2 kali lipat laju data layanan ADSL. Kapasitas yang dimiliki kabel *broadband* pun sangat besar jika dibandingkan dengan kabel ADSL karena kabel *broadband* memiliki frekuensi yang sangat tinggi dengan *bandwidth* yang lebar.

### ADSL *Broadband*

ADSL adalah singkatan dari *Abbreviation for Asymmetric Digital Subscriber Line*, merupakan sebuah tipe kabel koneksi *broadband* yang bekerja melalui kabel telepon rumah. Tidak seperti pelayanan *dial-up* yang menggunakan kabel telepon untuk menghubungkan internet, ADSL bekerja pada saluran telepon secara berdampingan dengan fungsi panggilan suara pada kabel telepon. Oleh karena itu, saat kita menggunakan layanan ADSL, kita dapat terkoneksi dengan internet dan dapat menerima ataupun melakukan panggilan telepon secara bersamaan. Dengan layanan ADSL, laju data yang dikirimkan cukup cepat.

ADSL disebut juga *Asymmetric DSL* karena laju data yang dikirimkan dengan laju data yang diterima tidak sama. Penerimaan data dapat mencapai laju 8 Mbps dan sedangkan pengiriman data hanya mencapai 1 Mbps saja.



Gambar 1. Skema Penggunaan Kabel Broadband ADSL[2]

### **Electromagnetic Compatibility (EMC)**

*Spark gap* menimbulkan gelombang elektromagnetik (EM) dalam bentuk spektrum frekuensi dan menimbulkan interferensi terhadap alat-alat listrik dan elektronik lainnya. Beberapa sumber lain yang memancarkan gelombang EM diantaranya adalah petir, *relay*, motor listrik DC, lampu pijar/neon, kabel tegangan tinggi, pemancar radio, antena radar, komputer dan alat-alat elektronik.

### **Aspek dari EMC**

EMC berhubungan dengan pembangkit, transmisi dan penerima dari energi EM. *Transmitter* menghasilkan pancaran dan saluran transmisi (*coupling path*) menyalurkan pancaran EM ini ke *receiver*. Kita dapat membagi cara pengiriman energi EM ini menjadi 2 jenis yakni : *radiated emission* dan *conducted emission*.

*Radiated emission*, ditunjukkan pada gambar 3.1, merupakan jenis pancaran emisi melalui media udara. Jenis pancaran ini banyak digunakan dalam penyampaian informasi komunikasi radio, radar ataupun telpon selular.

Selain melalui udara, pancaran EM juga dapat berasal dari logam konduktor yang digunakan untuk menyalurkan sinyal informasi dari *transmitter* ke *receiver* atau yang kita sering sebut dengan saluran transmisi (kabel). Pancaran EM jenis ini dikategorikan ke dalam bentuk pancaran konduksi (*conducted emission*), diperlihatkan pada gambar 3.2, oleh karena itu untuk mengetahui pancaran radiasi dari kabel lebih tepat digunakan *conducted emission test*.

Pancaran konduksi dapat mempengaruhi sistem lain sehingga menimbulkan efek interferensi. Dalam hal ini *conducted emission* dapat menghasilkan *radiated emission* [1].

### **Standar IEEE C95.1 Edisi 1999**

Dokumen Standar IEEE dikembangkan dalam Sosial dan Standar Komisi Koordinasi IEEE dari Asosiasi Standar IEEE (IEEE-SA) *Standart Board*. Anggota dari komisi ini melayani secara sukarela dan tanpa kompensasi. Anggota ini bukan merupakan anggota dari suatu institusi. Pengembangan standar-standar dalam IEEE mewakili sebuah keputusan bersama dari para ahli dalam bidangnya.

IEEE C95.1-1991 memberikan rekomendasi-rekomendasi untuk mencegah efek-efek berbahaya dari paparan medan elektromagnetik (EM) pada range frekuensi antara 3kHz - 3GHz terhadap keberadaan manusia. Rekomendasi-rekomendasi ini dapat digunakan pada paparan lingkungan yang dapat dikendalikan ataupun pada lingkungan yang tidak dapat dikendalikan.

Untuk tujuan pemakaian dari standar ini telah diberikan beberapa definisi seperti yang tertera pada poin-poin di bawah ini [9].

- **Power density (S)**

Daya per satuan luas dari arah perambatan radiasi gelombang yang biasanya dinyatakan dalam satuan ( $W/m^2$ ) atau ( $mW/cm^2$ ). Untuk gelombang datar, *power density*, kuat medan listrik (E), dan kuat medan magnet (H) dihubungkan dengan impedansi pada ruang hampa yakni sebesar  $377 \Omega$  dapat dinyatakan dengan rumus [9]:

$$S = EH = \frac{E^2}{377} = 377 H^2$$

- **Maximum Permissible Exposure (MPE)**

MPE merupakan nilai rms dan *peak* dari kuat medan magnet dan medan listrik dalam satuan luas atau persamaan *power density* dari gelombang datar yang medan-medannya diperbolehkan mengenai seseorang sehingga tidak memberikan efek yang berbahaya karena nilai tersebut masih dalam level yang aman dan dapat diterima.

Untuk paparan energi elektromagnetik terhadap manusia dalam lingkungan terkendali pada frekuensi radio dari 3kHz sampai 300GHz, nilai MPE diberikan pada table 2.1 di bawah ini sebagai suatu fungsi dari frekuensi. Pendekatan paparan radiasi pada lingkungan terkendali meliputi paparan terhadap individu-individu yang sadar akan adanya potensi paparan sedangkan pendekatan paparan radiasi pada lingkungan yang tidak terkendali adalah paparan terhadap individu-individu yang tidak mengetahui akan adanya radiasi ini dan juga tidak dapat mengendalikannya. Paparan ini dapat terjadi pada lingkungan rumah tangga ataupun lingkungan kerja di mana tidak ada pengharapan akan keberadaan paparan radiasi ini.

Untuk medan pada frekuensi di bawah 300 MHz, *power density* atau kuat medan dalam satuan luas dirata-rata selama periode 6 menit untuk lingkungan yang terkendali dan di atas 6 - 30 menit untuk lingkungan yang tak terkendali. Pengukuran untuk menetapkan kesesuaian dengan rekomendasi MPE dari standar ini harus dilakukan pada jarak 5 cm dari sumber radiasi. Untuk paparan daerah *near-field* pada daerah frekuensi, nilai MPE dapat dinyatakan sebagai persamaan *power density* untuk gelombang datar. Batasan-batasan MPE untuk lingkungan yang terkendali dan lingkungan yang tak terkendali dapat dilihat dari table 2.

Tabel 1. Batasan MPE untuk Lingkungan Tak Terkendali (*Uncontrolled Environment*) [9]

| Part A: Electromagnetic Fields <sup>†</sup> |                                   |                                   |  |   |                           |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|--|---|---------------------------|
| Frequency range (MHz)                       | Electric field strength (E) (V/m) | Magnetic field strength (H) (A/m) | Power density (S) E-field, H-field (mW/cm <sup>2</sup> ) | Averaging time  E  <sup>2</sup> , S or  H  <sup>2</sup> (min) |                           |
| 1   | 2                                 | 3                                 | 4  | 5   |                           |
| 0.003–0.1                                   | 614                               | 163                               | (100, 1 000 000) <sup>‡</sup>                            | 6   | 6                         |
| 0.1–1.34                                    | 614                               | 16.3 / f                          | (100, 10 000 / f <sup>2</sup> ) <sup>‡</sup>             | 6   | 6                         |
| 1.34–3.0                                    | 823.8 / f                         | 16.3 / f                          | (180 / f <sup>2</sup> , 10 000 / f <sup>2</sup> )        | f <sup>2</sup> / 0.3  | 6                         |
| 3.0–30                                      | 823.8 / f                         | 16.3 / f                          | (180 / f <sup>2</sup> , 10 000 / f <sup>2</sup> )        | 30  | 6                         |
| 30–100                                      | 27.5                              | 158.3 / f <sup>1.668</sup>        | (0.2, 940 000 / f <sup>3.336</sup> )                     | 30  | 0.0636 f <sup>1.337</sup> |
| 100–300                                     | 27.5                              | 0.0729                            | 0.2  | 30  | 30                        |
| 300–3000                                    | —                                 | —                                 | f / 1500   | 30  |                           |
| 3000–15 000                                 | —                                 | —                                 | f / 1500   | 90 000 / f  |                           |
| 15 000–300 000                              |                                   |                                   | 10   | 616 000 / f <sup>1.2</sup>                                    |                           |

NOTE—f is the frequency in MHz.

## METODE

Penelitian ini dilakukan dengan metoda percobaan atau kajian, di mana dilakukan sejumlah rangkaian pengukuran dan diambil kesimpulan akhir setelah melakukan perhitungan dan analisis terhadap nilai intensitas pancaran radiasi dalam besaran *power density* atau *receive signal level* (RSL) dari kabel komunikasi *broadband*.

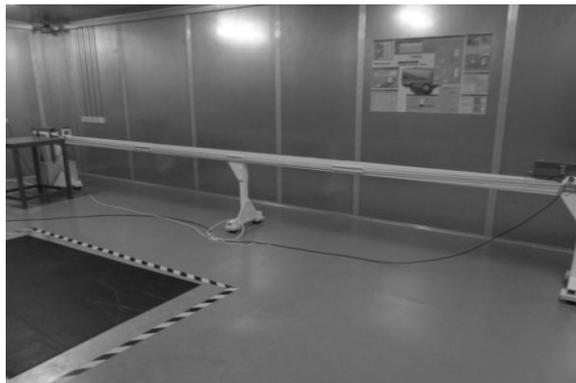
## Tempat Pengukuran

Tempat pengukuran dan pengambilan data dan sampel dilakukan di gedung 413 Laboratorium EMC Puslit Sistem Mutu dan Teknologi Pengujian LIPI, PUSPIPTEK, Serpong. Di bawah ini adalah gambar tempat pengukuran.

Tabel 2. Batasan MPE untuk Lingkungan Terkendali (*Controlled Environment*) [9]

| Part A: Electromagnetic fields <sup>†</sup> |                                   |                                   |  |   |
|---|-----------------------------------|-----------------------------------|--|---|
| Frequency range (MHz)                       | Electric field strength (E) (V/m) | Magnetic field strength (H) (A/m) | Power density (S) E-field, H-field (mW/cm <sup>2</sup> ) | Averaging time  E  <sup>2</sup> ,  H  <sup>2</sup> or S (min) |
| 1   | 2                                 | 3                                 | 4  | 5   |
| 0.003–0.1                                   | 614                               | 163                               | (100, 1 000 000) <sup>‡</sup>                            | 6   |
| 0.1–3.0                                     | 614                               | 16.3 / f                          | (100, 10 000 / f <sup>2</sup> ) <sup>‡</sup>             | 6   |
| 3–30  | 1842 / f                          | 16.3 / f                          | (900 / f <sup>2</sup> , 10 000 / f <sup>2</sup> )        | 6   |
| 30–100                                      | 61.4                              | 16.3 / f                          | (1.0, 10 000 / f <sup>2</sup> )                          | 6   |
| 100–300                                     | 61.4                              | 0.163                             | 1.0  | 6   |
| 300–3000                                    | —                                 | —                                 | f / 300  | 6   |
| 3000–15 000                                 | —                                 | —                                 | 10   | 6   |
| 15 000–300 000                              | —                                 | —                                 | 10   | 616 000 / f <sup>1.2</sup>                                    |

Note—f is the frequency in MHz.



Gambar 2. Ruang tempat pengukuran

### Perangkat yang digunakan

Pengukuran dan penelitian ini dibantu dengan beberapa alat dan bahan sebagai berikut:

- *Absorbing Clamp* yang terintegrasi ke dalam *Conducted Emmission Test System* untuk mengetahui besaran *Receive Signal Level* (RSL) dan frekuensi kabel *broadband*.
- *Splitter* sebagai pemisah antara informasi suara dengan informasi data pada kabel *broadband*.
- Modem ADSL sebagai penerjemah sinyal digital dari server yang ada di sisi pelanggan.
- Adapter modem dan adapter *laptop* sebagai *power supply*.
- *Laptop* sebagai penerima informasi dari modem ADSL.
- Kabel ADSL yang terpasang pada modem ADSL sebagai kabel *broadband*.

### Metode Pengukuran

Beberapa kondisi dilakukan selama pengambilan data RSL yang dianalisis, yang terbagi menjadi 3 bagian pengukuran, yaitu pengukuran saat modem Off, pengukuran saat modem On dan download Off, pengukuran saat modem On dan download On.

1. Pengukuran saat *modem Off* dengan kondisi *spliter On*, dilakukan dengan beberapa langkah berikut:
  - Kondisi *adapter modem On/Off*
  - Keberadaan *laptop* dalam pengukuran *In/Out*
  - Kondisi koneksi *laptop* dan *modem Off*
  - Kondisi *laptop* dalam *mendownload Off*
2. Pengukuran saat *modem On* dan *download Off* dengan langkah sebagai berikut:
  - Kondisi *spliter On*
  - Kondisi *adapter modem On*
  - Keberadaan *laptop* dalam pengukuran *In/Out*
  - Kondisi koneksi *laptop* dan *modem On/Off*
  - Kondisi *laptop* dalam *mendownload Off*
3. Pengukuran saat *modem On* dan *download On* dengan langkah sebagai berikut:
  - Kondisi *spliter On*
  - Kondisi *adapter modem On*
  - Keberadaan *laptop* dalam pengukuran *In*
  - Kondisi koneksi *laptop* dan *modem On*
  - Kondisi *laptop* dalam *mendownload On*

Langkah-langkah dari pengukuran ini dapat dilihat dari sejumlah poin di bawah ini:

- Diletakkan kabel *broadband* ke dalam *absorbing clamp*.
- Dihidupkan peralatan-peralatan yang berada di dalam rak *conducted emission test system* yang terdiri dari *spectrum analyzer* (SA), *receiver*, *selector*, *RF generation*, *preamplifier* dan *clamp controller*.
- Pada komputer dalam program *Radiated Power Software EP5/RFP* Versi 3.2 *disetting* jangkauan frekuensi pengukuran, panjang pengukuran, dan satuan unit besaran. Pengukuran ini *diset* jangkauan frekuensi 30-300 MHz, panjang pengukuran (5,00±00) m, dan satuan unit yang dibaca untuk daya yang diterima (RSL) dalam dBpW.
- Dijalankan *clamp* dengan bantuan *software* dari komputer dan ditunggu hingga *clamp* berhenti di ujung pengukuran.
- Dilihat data hasil pengukuran dan bentuk spektrumnya pada komputer. Adapun informasi-informasi dari pengukuran adalah, yang ditunjukkan pada gambar 3.2:
  - *Limit QP* (Quasi-Peak) : batasan *quasi-peak* dari *Suspected List* : merupakan hasil pengukuran 1x *clamp* berjalan yang berisi tentang frekuensi-frekuensi yang dicurigai sebagai penghasil radiasi dari kabel beserta nilai radiasinya.
  - *Final Data List* : merupakan hasil pengukuran 5x *clamp* berjalan untuk memberikan informasi frekuensi rata-rata dan nilai radiasi rata-rata setelah frekuensi yang dicurigai dianggap sebagai penghasil radiasi EM dari kabel.
  - *Frequency* : frekuensi yang memancar dari kabel (MHz).
  - *Reading* : pancaran *peak* dari kabel (dBμV).
  - *Factor* : merupakan loss dari sistem pengukuran (dBμV).
  - *Level* : *Reading – Factor* (dBpW).
  - CISPR 13 (dBμV).

- *Limit Average* : batasan *average-peak* dari CISPR 13 (dBμV).
- *Margin QP* : selisih antara *Level* dengan *Limit QP* (dBμV).
- *Margin AV* : selisih antara *Level* dengan *Limit Average* (dBμV).
- *Pass/fail* : status *peak* terhadap batasan CISPR 13.
- *Position* : posisi terjadinya radiasi pada kabel diukur dari EUT (*Equipment Under Test*).
- *Section* : sesi pengukuran.
- *Remark* : catatan dalam pengukuran.
- *Stability* : memberikan informasi kestabilan radiasi.
- *Reading QP* : nilai *quasi-peak* yang terbaca oleh *spectrum analyzer* (dBμV).
- *Reading AV* : nilai *average-peak* yang terbaca oleh *spectrum analyzer* (dBμV).

INFORMATION:

|                |   |           |   |                         |
|----------------|---|-----------|---|-------------------------|
| Standard       | : | Date/Time | : | 12 December, 2011 14:15 |
| Model          | : | Serial    | : |                         |
| Operator       | : | AC Power  | : |                         |
| Temp, Humidity | : |           | : |                         |
| Remark         | : |           | : |                         |
|                | : |           | : |                         |
|                | : |           | : |                         |

TEST DATA:

A. Suspected List

| Frequency<br>MHz | Reading<br>dB(μV) | Factor<br>dB | Level<br>dB(μV) | Limit<br>dB(μV)<br>QP | Limit<br>dB(μV)<br>AV | Margin<br>dB<br>QP | Margin<br>dB<br>AV | Pass<br>/Fail | Position | Section | Remark |
|------------------|-------------------|--------------|-----------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|---------------|----------|---------|--------|
|                  |                   |              |                 |                       |                       |                    |                    |               |          |         |        |

B. Final Data List

| Frequency<br>MHz | Stability | Reading<br>dB(μV)<br>QP | Reading<br>dB(μV)<br>AV | Factor<br>dB | Level<br>dB(μV)<br>QP | Level<br>dB(μV)<br>AV | Limit<br>dB(μV)<br>QP | Limit<br>dB(μV)<br>AV | Margin<br>dB<br>QP | Margin<br>dB<br>AV | Pass<br>/Fail | Position | Section | Remark |
|------------------|-----------|-------------------------|-------------------------|--------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|---------------|----------|---------|--------|
|                  |           |                         |                         |              |                       |                       |                       |                       |                    |                    |               |          |         |        |

TRACE:

Gambar 3. Informasi Hasil Pengukuran

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini dibahas semua data hasil pengukuran serta perhitungan-perhitungan, yang merupakan pengolahan data dengan rumus-rumus yang telah diperoleh dari landasan teori.

### Hasil Pengukuran Oleh *Conducted Emission Test System*.

Pada pengukuran radiasi pada sistem kabel, radiasi yang dihasilkan berada pada daerah medan dekat. Kabel harus dipandang sebagai sebuah saluran transmisi di mana dibutuhkan suatu kestabilan pada beban agar gelombang yang mengalir dapat berdiri sempurna dan pengukuran nilai radiasi yang diserap oleh *clamp* cenderung konstan [1]. Oleh karena itu digunakan *absorbing clamp* yang terintegrasi ke dalam *conducted emission test system* untuk menyerap nilai radiasi yang keluar dari kabel sekaligus menstabilkan nilai impedansi beban pada saat pengukuran [12].

*Conducted emission test system* sendiri adalah sistem alat ukur yang secara khusus digunakan untuk mengukur pancaran radiasi yang keluar dari kabel secara konduksi. Namun dengan penggunaan *absorbing clamp* yang terintegrasi pada *conducted emission test system*, nilai radiasi yang berasal dari sebuah kabel pada daerah medan dekat (*near field*) dapat diukur.

Besaran yang diukur adalah *Level* yang merupakan **nilai Receive Signal Level (RSL)** yang diserap oleh *clamp* (dBpW) dan nilai **factor** yang merupakan nilai *Loss* dari *clamp* (dB). Sedangkan besaran-besaran lain yang terukur dapat diabaikan karena besaran-besaran itu digunakan untuk kesesuaian emisi secara konduksi.

### Hasil Pengukuran Nilai RSL (dBpW) Saat Modem off

Pada bagian ini diukur daya yang diserap oleh *clamp* (RSL) dalam satuan dBpW dengan beberapa perubahan perangkat komunikasi data namun hanya modem saja yang berada pada posisi *off*. Pengukuran ini merupakan pengukuran nilai RSL dari kabel *broadband* pada jangkauan frekuensi 30-300 MHz.

Tabel 3. Tabel hasil pengukuran nilai RSL (dBpW) saat *modem off*

| No. | Tipe Pengukuran                                    | Frekuensi (MHz) | RSL (dBpW)  |
|-----|--|-----------------|-------------|
| 1   | Adapter modem off                                  | 0               | (0±0)       |
| 2   | Adapter modem on, Modem Tidak terkoneksi ke Laptop | 40,908          | (25,9±0,00) |
| 3   | Adapter modem on, Modem terkoneksi ke Laptop       | 40,635          | (28,2±0,00) |

Dari tabel di atas didapatkan bahwa saat semua perangkat dalam keadaan *off*, *laptop out* dan hanya *splitter* saja yang *on*, tidak ada daya yang diserap oleh *clamp* dari kabel *broadband*. Hal ini mengindikasikan bahwa tidak ada sinyal yang mengalir di dalam kabel *broadband* yang berasal dari *server* maupun *customer*. Disamping itu, hal ini juga menunjukkan bahwa tidak ada *noise* atau gangguan dari peralatan lain yang masuk ke kabel baik secara konduksi maupun secara radiasi saat pengukuran dilakukan.

Pada saat *adapter modem* dalam posisi *on*, ada daya yang diserap oleh *clamp* (RSL) dari kabel *broadband* pada frekuensi 40,908 MHz sebesar 25,90 dBpW. Kehadiran *laptop* di ruang pengukuran membuat nilai daya ini bertambah menjadi 28,20 dB, yang juga terjadi pada frekuensi yang tidak berbeda jauh yaitu 40, 635 MHz. Kenaikan ini dikarenakan *laptop* yang masuk ke dalam pengukuran juga menggunakan *adapter* yang terhubung ke sumber daya yang sama (*supply* PLN 220 V) dengan *adapter modem*. Kedua pengukuran ini menghasilkan daya radiasi pada frekuensi yang sama yakni sebesar  $\bar{f} = \frac{40,908 + 40,635}{2} = 40.772$  MHz, sesuai dengan teori bahwa *power supply* akan memberikan radiasi elektromagnetik pada frekuensi 40 MHz [1].

### Hasil Pengukuran Nilai RSL (dBpW) Saat Modem on dan download off

Pada bagian ini diukur daya yang diserap oleh *clamp* (RSL) dalam satuan dBpW dengan beberapa perubahan perangkat komunikasi data namun hanya *modem* saja yang *on* dan belum melakukan *download*, yaitu (a) kondisi modem hanya terpasang ke adapter, (b) laptop ada dalam ruang pengukuran tp tidak terkoneksi ke modem, dan (c) modem terkoneksi ke laptop, seperti ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. Tabel hasil pengukuran nilai RSL (dBpW) saat *modem on*

| Tipe Pengukuran | Frekuensi (MHz) | RSL (dBpW)   |
|-----------------|-----------------|--------------|
| (a)             | 105.811         | (22.60±0,00) |
|                 | 141.262         | (28.40±0,00) |
|                 | 211.891         | (25.80±0,00) |
| (b)             | 141.262         | (32.00±0,00) |
|                 | 211.891         | (28.20±0,00) |
|                 | 282.520         | (21.80±0,00) |

Tabel 4. Tabel hasil pengukuran nilai RSL (dBpW) saat *modem on* (Lanjutan)

|     |         |              |
|-----|---------|--------------|
| (c) | 94.357  | (34.60±0,00) |
|     | 104.720 | (29.10±0,00) |
|     | 141.262 | (33.40±0,00) |
|     | 211.891 | (28.50±0,00) |

Pada saat *modem* dalam keadaan *on*, banyak frekuensi-frekuensi yang dicurigai sebagai penghasil radiasi dari kabel *broadband*. Beberapa frekuensi ada yang mengalami pengulangan pada saat pengukuran. Dapat dilihat juga untuk frekuensi yang berulang, nilai daya yang diserap oleh *clamp* meningkat seiring penambahan perangkat lainnya, seperti saat *laptop in* nilai RSLnya bertambah dibandingkan dengan nilai RSL saat *laptop out*. Begitu juga saat *laptop connect on* nilai RSLnya bertambah dibandingkan saat *laptop connect off*.

#### Hasil pengukuran nilai RSL (dBpW) saat melakukan *download*

Pada bagian ini dilakukan pengukuran nilai RSL saat semua perangkat komunikasi data dalam keadaan aktif dan kondisi *modem mendownload* suatu informasi dari internet. Keadaan saat *mendownload* ini dibedakan berdasarkan kegiatan yang paling sering dilakukan saat menggunakan layanan internet yang diantaranya adalah saat bermain *game online*, *streaming* televisi, *streaming* radio, *download video*, dan saat melakukan *video call*. Berikut merupakan konfigurasi pengukuran saat melakukan *download*. Adapun hasil pengukuran nilai RSL dari keadaan-keadaan tersebut dapat dilihat dari poin-poin pada tabel dibawah berikut.

Tabel 5. Tabel hasil pengukuran nilai RSL (dBpW) saat melakukan *download*

| Saat game online<br>(a) |              | Saat Streaming TV<br>(b) |              | Saat Streaming Radio<br>(c) |              | Saat Download video<br>(d) |              | Saat Video Call<br>(e) |              |
|-------------------------|--------------|--------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|----------------------------|--------------|------------------------|--------------|
| Frek<br>(MHz)           | RSL (dBpW)   | Frek<br>(MHz)            | RSL (dBpW)   | Frek<br>(MHz)               | RSL (dBpW)   | Frek<br>(MHz)              | RSL (dBpW)   | Frek<br>(MHz)          | RSL (dBpW)   |
| 74.450                  | (30.40±0,00) | 76.359                   | (29.40±0,00) | 74.450                      | (29.90±0,00) | 77.177                     | (30.20±0,00) | 30.545                 | (36.00±0,00) |
| 77.177                  | (30.10±0,00) | 80.995                   | (29.70±0,00) | 94.357                      | (30.00±0,00) | 94.357                     | (29.80±0,00) | 94.357                 | (34.00±0,00) |
| 80.995                  | (29.50±0,00) | 94.357                   | (30.10±0,00) | 141.262                     | (34.00±0,00) | 141.262                    | (33.90±0,00) | 96.266                 | (31.70±0,00) |
| 96.266                  | (28.40±0,00) | 141.262                  | (33.70±0,00) | 166.623                     | (24.60±0,00) | 166.623                    | (24.40±0,00) | 101.720                | (29.80±0,00) |
| 141.262                 | (33.90±0,00) | 166.623                  | (29.30±0,00) | 211.891                     | (29.60±0,00) | 211.891                    | (29.40±0,00) | 104.447                | (29.90±0,00) |
| 166.623                 | (28.70±0,00) | 211.891                  | (29.40±0,00) | 282.520                     | (20.40±0,00) | 282.520                    | (23.00±0,00) | 141.262                | (34.70±0,00) |
| 211.891                 | (29.20±0,00) | 244.615                  | (24.70±0,00) |                             |              |                            |              | 211.891                | (29.50±0,00) |
| 282.520                 | (21.50±0,00) | 282.520                  | (20.30±0,00) |                             |              |                            |              | 282.520                | (22.40±0,00) |

Dari 5 tipe pengukuran nilai RSL saat *mendownload* informasi dari internet di atas, diambil 4 frekuensi yang dapat mewakili nilai pancaran radiasi pada kabel

*broadband* yaitu frekuensi 30,545 MHz, 94,357 MHz, 141,262 MHz, dan 211,891 MHz. Hal tersebut didasari karena frekuensi-frekuensi tersebut selalu ada pada setiap pengukuran untuk berbagai tipe dan nilai RSL yang timbul juga cukup signifikan. Sedangkan khusus untuk frekuensi 30,545 MHz, meskipun tidak berulang di beberapa tipe *download*, dapat dijadikan sampel karena frekuensi ini memiliki nilai RSL yang paling besar diantara frekuensi-frekuensi lainnya.

Selanjutnya dari 4 frekuensi sampel ini akan dihitung nilai *power density*nya dan dibandingkan dengan batas aman nilai *power density* menurut standar IEEE C95.1. Ke-4 frekuensi sampel dari 5 tipe *download* diatas, yang selanjutnya mewakili nilai pancaran radiasi kabel *broadband* dapat diakumulasi sebagaimana ditunjukkan tabel di bawah ini.

Tabel 6. Tabel hasil pengukuran nilai RSL (dBpW) 4 frekuensi sampel

| Sumber Sample | Frekuensi (MHz) | RSL (dBpW)   | RSL Average (dBmW) |
|---------------|-----------------|--------------|--------------------|
| e             | 30.545          | (36.00±0,00) | (-54,00 ± 0,00)    |
| b             | 94.357          | (30.10±0,00) | (-59,03 ± 1,01)    |
| c             |                 | (30.00±0,00) |                    |
| d             |                 | (29.80±0,00) |                    |
| e             |                 | (34,00±0,00) |                    |
| a             | 141.262         | (33.90±0,00) | (-55,96 ± 0,17)    |
| b             |                 | (33.70±0,00) |                    |
| c             |                 | (34.00±0,00) |                    |
| d             |                 | (33.90±0,00) |                    |
| e             |                 | (34,70±0,00) |                    |
| a             | 211.891         | (29.20±0,00) | (-60,50 ± 0,12)    |
| b             |                 | (29.40±0,00) |                    |
| c             |                 | (29.60±0,00) |                    |
| d             |                 | (29.40±0,00) |                    |
| e             |                 | (29.50±0,00) |                    |

Karena pengukuran dilakukan dengan meletakkan kabel *broadband* pada *clamp* sehingga kabel menempel pada *clamp* maka jarak antara sumber emisi (kabel *broadband*) dengan alat ukur (*clamp* terintegrasi dengan *spectrum analyzer*) adalah nol (0). Sehingga nilai FSL (*Free Space Loss*) yang tidak lain adalah nilai *loss* yang disebabkan jarak antara sumber dengan penerima dapat diasumsikan nol (0). Dengan demikian, nilai **EIRP**, parameter yang menunjukkan besarnya pancaran radiasi kabel *broadband*, dapat dirumuskan sebagaimana ditabelkan berikut. Nilai EIRP ini yang kemudian digunakan untuk menentukan *power density* yang dipancarkan oleh kabel *broadband* sebagai pancaran medan dekat dari suatu kabel.

Tabel 7. Tabel hasil perhitungan nilai EIRP (dBmW) untuk 4 frekuensi sampel

| Frekuensi | EIRP(dBmW)      |
|-----------|-----------------|
| 30.545    | (-69,20 ± 0,00) |
| 94.357    | (-76,06 ± 1,18) |
| 141.262   | (-72,90 ± 0,33) |
| 211.891   | (-78,20 ± 0,12) |

### Perhitungan *Power Density* 4 Frekuensi Sampel

Pada bagian ini akan dihitung nilai *power density* dari 4 frekuensi sampel pengukuran. Berdasarkan teori, *power density* diperoleh dengan rumus [6] :

$$S = \frac{\text{EIRP}}{4\pi R^2}$$

Untuk membandingkan nilai *power density* dari pengukuran kabel *broadband* dengan nilai *power density* menurut standar IEEE C95.1, maka nilai R harus diukur pada jarak  $R = (5 \pm 0,00)$  cm [9]. Dengan demikian nilai *power density* dari hasil pengukuran dihitung dengan rumus [6] dan selanjutnya hasil perhitungannya dapat diperlihatkan pada tabel 4.6 dibawah.

$$S(\text{dBmW/cm}^2) = \text{EIRP}(\text{dBmW}) - 10\log(4\pi R^2)$$

Tabel 8. Hasil perhitungan *power density* (dBmW) untuk 4 frekuensi sampel

| Frekuensi | EIRP(dBmW)          | $4\pi R^2$ (dB)     | $S(\text{dBmW/cm}^2)$ |
|-----------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| 30.545    | $(-69,20 \pm 0,00)$ | $(-24,97 \pm 0,00)$ | $(-94,17 \pm 0,00)$   |
| 94.357    | $(-76,06 \pm 1,18)$ | $(-24,97 \pm 0,00)$ | $(-101,03 \pm 1,18)$  |
| 141.262   | $(-72,90 \pm 0,33)$ | $(-24,97 \pm 0,00)$ | $(-97,87 \pm 0,33)$   |
| 211.891   | $(-78,20 \pm 0,12)$ | $(-24,97 \pm 0,00)$ | $(-103,17 \pm 0,12)$  |

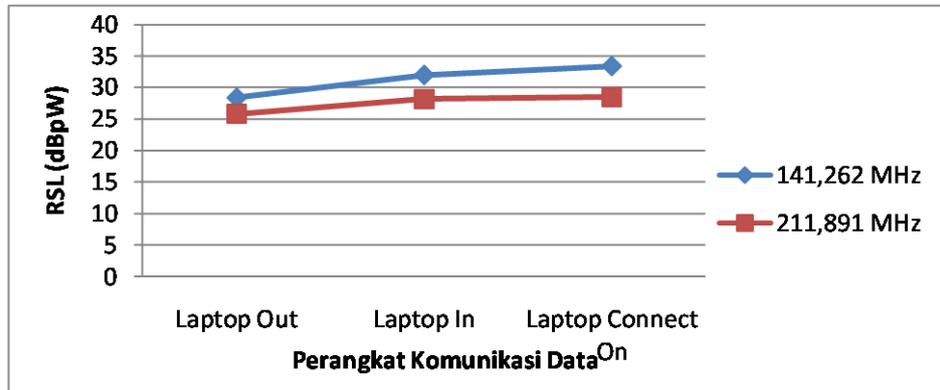
### Analisis Data Hasil Pengukuran

Pada pengukuran nilai RSL saat semua perangkat komunikasi dalam keadaan *off* (data tabel 4.1 bagian 1), tidak ada daya yang diserap oleh *clamp* dari kabel *broadband*. Keadaan ini menunjukkan bahwa pengukuran yang dilakukan berada pada lingkungan yang terkendali (*controlled environment*) di mana tidak ada pancaran dari peralatan lain baik secara konduksi maupun secara radiasi yang mengganggu hasil pengukuran.

Dari hasil pengukuran nilai RSL saat *modem* dalam keadaan *off*, *adapter modem on* (tabel 4.1 bagian 2) didapat bahwa nilai daya yang diserap oleh *clamp* bekerja pada frekuensi  $\pm 40$  MHz. Nilai daya ini meningkat saat sebuah *laptop* yang memiliki *adapter* juga terhubung pada sumber daya yang sama dengan *adapter modem* berada pada sistem pengukuran. Walaupun *laptop* tidak terkoneksi dengan *modem*, ternyata nilai daya yang diserap mengalami peningkatan, hal ini menunjukkan bahwa, emisi *adapter* dari *laptop* masuk ke dalam kabel *broadband* pada frekuensi yang sama (40 MHz) dan menaikkan nilai daya yang diserap oleh *clamp*.

Hal tersebut diatas sesuai dengan tinjauan pustaka bahwa frekuensi pancaran yang berasal dari *power supply* bekerja pada frekuensi 40 MHz dan sinyal dari frekuensi ini dapat saja mempengaruhi peralatan lain melalui media kabel yang terhubung pada sumber daya yang sama [1].

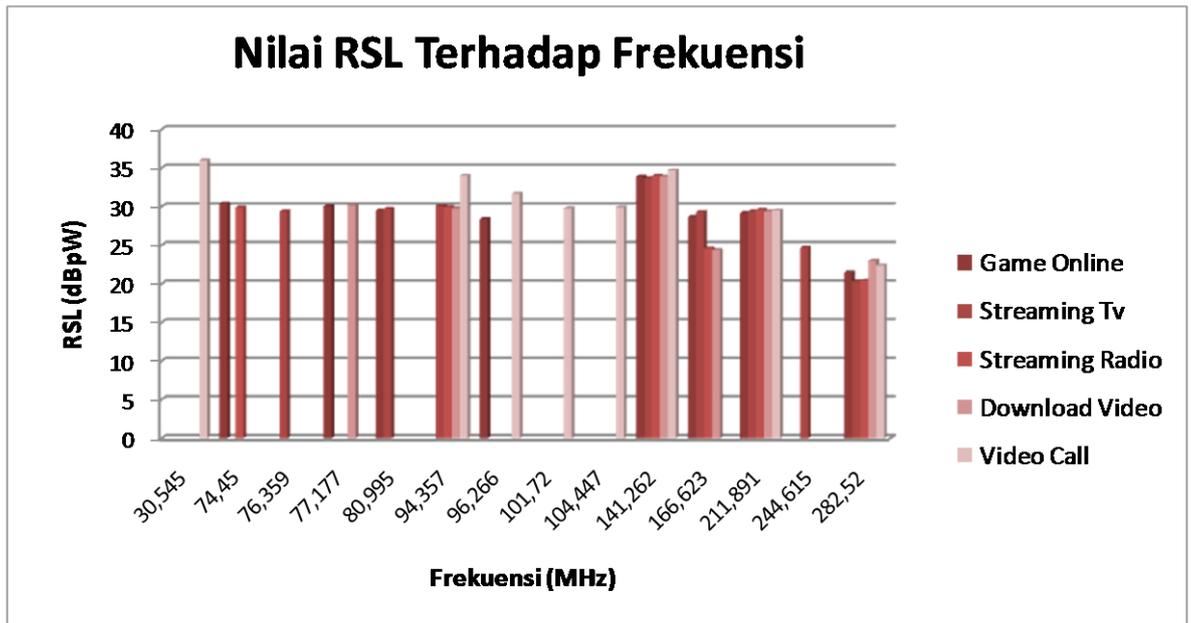
Untuk pengukuran nilai RSL saat *modem* dalam keadaan *on* dan belum melakukan *download* (tabel 4.2), didapatkan bahwa banyak frekuensi yang diserap oleh *clamp*, dimana sebagian frekuensi dicurigai sebagai penghasil emisi atau radiasi elektromagnetik. Frekuensi-frekuensi ini ada yang mengalami pengurangan. Nilai daya yang diserap oleh *clamp* pada frekuensi-frekuensi yang berulang ini mengalami peningkatan seiring dengan penambahan perangkat yang digunakan. Untuk melihat lebih jelas peningkatan nilai RSL terhadap penambahan perangkat, grafik di bawah ini memperlihatkan perubahan level daya (RSL) yang diterima .



Gambar 4. Grafik Peningkatan nilai RSL Terhadap Penambahan Perangkat Komunikasi Data

Dari gambar grafik di atas menunjukkan bahwa setiap perangkat yang menjadi penyusun sistem komunikasi data pada kabel *broadband* memberikan pengaruh yakni berupa peningkatan nilai daya yang diserap oleh *clamp*.

Selanjutnya, untuk mengetahui nilai pancaran radiasi yang dari kabel *broadband*, radiasi diukur dalam kondisi yang ideal, yakni pada kondisi di mana seluruh perangkat dalam keadaan aktif dan melakukan *download*. Untuk memenuhi persyaratan itu, pengukuran nilai RSL dilakukan dengan kondisi *download* informasi yang berbeda-beda dari internet. Pada bagian pengukuran ini dihasilkan banyak frekuensi yang dicurigai sebagai penghasil radiasi elektromagnetik dari kabel *broadband*. Hasil pengukuran nilai RSL yang ditabelkan pada tabel 4.3 ini dapat disederhanakan ke dalam bentuk diagram batang sebagai berikut.



Gambar 5. Grafik Pengukuran nilai RSL saat *Download*

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa hasil pengukuran nilai RSL saat mendownload informasi yang berbeda dari internet, beberapa memiliki nilai yang tidak banyak berubah di setiap frekuensi yang berulang. Oleh karena itu, diambil 4 frekuensi yang dapat mewakili nilai pancaran radiasi dari kabel *broadband*, yaitu frekuensi **30,545 MHz, 94,357 MHz, 141,262 MHz, dan 211,891 MHz**. Pengambilan 4 frekuensi ini dikarenakan frekuensi-frekuensi ini selalu ada di setiap tipe *download* dan memiliki nilai RSL yang cukup signifikan, sedangkan khusus untuk frekuensi **30,545 MHz**, dapat dijadikan sampel karena frekuensi ini memiliki nilai RSL yang paling besar diantara frekuensi-frekuensi lainnya.

Sesuai dengan peraturan IEEE C95.1, pancaran radiasi *near field* di lingkungan yang terkendali diukur pada jarak 5 cm dari perangkat yang menghasilkan emisi atau pancaran [9]. Selanjutnya, nilai *power density* yang dihasilkan dari pengukuran dibandingkan dengan nilai perhitungan batasan *power density* menurut standar IEEE.C95.1. Dalam perhitungan batasan *power density* menurut IEEE C95.1, maka perwakilan dari 4 frekuensi hasil pengukuran dibagi ke dalam dua bagian jangkauan frekuensi, yakni jangkauan frekuensi 30-100 MHz dan 100-300 MHz. Untuk membandingkan nilai *power density* dari hasil pengukuran dengan nilai *power density* dari standar IEEE.C5.1 dapat dilihat dari tabel di bawah ini :

Tabel 9. Tabel Perbandingan nilai *power density* hasil pengukuran dengan standar

| Frekuensi | $S_{\text{Pengukuran}} \text{ (dBmW/cm}^2\text{)}$ | $S_{\text{IEEE.C95.1}} \text{ (dBmW/cm}^2\text{)}$ |
|-----------|--|--|
| 30.545    | $(-94,17 \pm 0,00)$                                | $(10,31 \pm 0,00)$                                 |
| 94.357    | $(-101,03 \pm 1,18)$                               | $(0,50 \pm 0,00)$                                  |
| 141.262   | $(-97,87 \pm 0,33)$                                | $(0 \pm 0,00)$                                     |
| 211.891   | $(-103,17 \pm 0,12)$                               | $(0 \pm 0,00)$                                     |

Dari hasil perbandingan *power density* di atas maka didapatkan bahwa nilai radiasi yang paling besar terjadi pada frekuensi **30,545 MHz**, yakni pada saat menggunakan layanan video call, dengan nilai  $(-94,17 \pm 0,00) \text{ dBmW/cm}^2$ . Namun, nilai radiasi ini tidak cukup mewakili radiasi dari kabel *broadband* secara keseluruhan karena kemunculan radiasi ini hanya sekali. Sedangkan nilai radiasi yang selalu muncul di setiap tipe *download* dan dapat mewakili nilai radiasi kabel *broadband* adalah frekuensi **141,262 MHz dan 211,891 MHz** dengan nilai masing-masing  $(-97,87 \pm 0,33) \text{ dBmW/cm}^2$  dan  $(-103,17 \pm 0,12) \text{ dBmW/cm}^2$ .

Meskipun demikian, nilai radiasi tersebut jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan batas nilai radiasi menurut standar IEEE C95.1, maka dapat disimpulkan keberadaan pancaran radiasi yang dihasilkan oleh kabel *broadband* masih berada dalam batas aman jika radiasi ini terserap oleh tubuh.

## PENUTUP

Dari analisis data hasil pengukuran, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yang menjawab pertanyaan-pertanyaan yang ada di rumusan masalah. Kesimpulan-kesimpulan tersebut dapat dilihat dari sejumlah poin di bawah ini :

- Pancaran radiasi dari kabel *broadband* dapat dilihat dari nilai *power density* untuk setiap frekuensi pancarannya, yang diwakili oleh 4 frekuensi yang memiliki nilai *power density* yang signifikan dan sering muncul dalam pengukuran, yaitu **30,545 MHz, 94,357 MHz, 141,262 MHz, dan 211,891 MHz**. Nilai *power density* rata-rata yang dipancarkan dari 4 frekuensi tersebut berturut-

turut adalah :  $(-94,17 \pm 0,00)$  dBmW/cm<sup>2</sup>,  $(-101,03 \pm 1,18)$  dBmW/cm<sup>2</sup>,  $(-97,87 \pm 0,33)$  dBmW/cm<sup>2</sup>, dan  $(-103,17 \pm 0,12)$  dBmW/cm<sup>2</sup>.

- Batas *power density* pada kabel *broadband* menurut IEEE C95.1 tergantung dari nilai frekuensi yang digunakan sebagai sampel, yang besarnya untuk 4 frekuensi sampel yang sama dengan pengukuran adalah  $(10,31 \pm 00)$  dBmW/cm<sup>2</sup> untuk frekuensi 30,545 MHz,  $(0,50 \pm 00)$  dBmW/cm<sup>2</sup> untuk frekuensi 94,357 MHz,  $(0 \pm 00)$  dBmW/cm<sup>2</sup> untuk frekuensi 141,262 MHz dan 211,891 MHz.
- Dari keseluruhan pengukuran yang telah dilakukan, frekuensi yang memiliki nilai radiasi terbesar adalah 141,262 MHz dengan nilai  $(-97,87 \pm 0,33)$  dBmW/cm<sup>2</sup>. Meskipun demikian, nilai radiasi tersebut jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan batas nilai radiasi menurut standar IEEE C95.1, yaitu  $(0 \pm 00)$  dBmW/cm<sup>2</sup>, maka dapat disimpulkan bahwa keberadaan emisi radiasi yang dihasilkan oleh kabel *broadband* masih berada dalam batas aman jika radiasi ini terserap oleh tubuh.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Paul, Wiley. 2006. **Introduction to Electromagnetic Compatibility**, 2<sup>nd</sup> Ed, A John Wiley & Sons, Inc. Publication,
- “ADSL & Cabel Broadband”, <http://www.internet101.org/welcome-to-internet-101/internet-basics/internet-access/adsl-cable-broadband>, diakses pada Agustus 2012,
- “Digital Subscriber Line”, [www.xilinx.com/esp/wired/optical/.../DSL.pdf](http://www.xilinx.com/esp/wired/optical/.../DSL.pdf), diakses pada Agustus 2012.
- “Far and Near Fields”, dari <http://en.wikipedia.org/wiki/File:FarNearFields-USP-4998112-2.PNG>, diakses Desember 2012.
- “Near-Field vs Far-Field”, [www.home.agilent.com](http://www.home.agilent.com), diakses pada Desember 2012
- “Power Density”, [www.tscm.com/pwr-dens.pdf](http://www.tscm.com/pwr-dens.pdf), diakses pada Desember 2012.
- Bahar, Dr. Basrul. Sistem Komunikasi Analog. 2011.
- EMI Measurement Radiated Power Software EP5/RFP Version 3.2 Operation Guide, 20 Juli 2004. Toyo Cooperation.
- IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fileds, 3 kHz to 300 GHz. 2011, diakses pada Desember 2012.
- Mardjoeki, Soemarni. 2004. “Emisi Radiasi Medan Elektromagnetik Kabel Komunikasi Broadband”, Jurnal Teknologi Dirgantara, Vol 2, No. 2, Desember 2004.
- “2020 Diperkirakan 2 Milyar Orang Akan Menderita Kanker Akibat Telepon Seluler”, 12 Mei 2010, diakses pada Juli 2012.
- Absorbing Clamps to measure EMI Emissions according to CISPR 14 or EN 55014, [http://www.com-power.com/absorbing\\_clamps.html](http://www.com-power.com/absorbing_clamps.html), diakses pada Juli 2012.