

Gangguan Telepon Seluler Pada Transportasi Udara Komersial

TINJAUAN FENOMENA EMC

Hidajanto Djamal dan Iwan Krisnadi

Magister Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana

ABSTRAK

Sering kita mengalami dalam keseharian pada saat musim hujan adanya pengaruh kilatan halilintar pada pesawat televisi kita menjelang bunyi guruh yang mengikutinya. Atau pengaruh telepon seluler (yang berdekatan) pada tayangan televisi menjelang ponsel tersebut berdering. Sehingga pengaruh pancaran energi gelombang elektromagnetik itu memang ada dan terjadi. Fakta pengalaman itu kemudian melahirkan anggapan bahwa setiap sumber energi gelombang elektromagnetik (GEM), jauh maupun dekat dapat mempengaruhi sistem elektronik yang lain di seputar sumber tersebut. Hal ini melahirkan juga kekuatiran, bahwa setiap peralatan elektronik yang berada *on-board* di pesawat penumpang komersial akan mengganggu peralatan navigasi udara dan komunikasi pilot pesawat bersangkutan. Dalam paper ini, akan dikaji pengaruh tersebut pada penggunaan peralatan elektronik khususnya telepon seluler dalam transportasi udara komersial terhadap kecelakaan penerbangan. Kajian ini akan didukung oleh satu penelitian lapangan pengaruh/efek interferensi terhadap kinerja peralatan navigasi dan komunikasi dalam penerbangan tersebut di Indonesia. Penelitian dijalankan di Pusat Pemeliharaan dan Perbaikan Pesawat Garuda (GMF, *Garuda Maintenance Facilities*) di Bandara Soekarno-Hatta-Cengkareng.

Kata Kunci : *Telepon seluler, GMF*

1. PENDAHULUAN

Pengaruh pancaran satu sumber *radio frequency* (gelombang elektromagnetik/GEM) pada satu perangkat sebagai perangkat penerima, dapat terjadi apabila kedua perangkat tersebut relatif berdekatan. Akan tetapi bila kedua perangkat itu digeser menjauh satu sama lain, maka pengaruh itu menghilang. Terdapat juga situasi bahwa pengaruh yang dimaksudkan masih tetap ada bila dua perangkat yang berbeda, seperti misalnya antara satu BTS yang berada di kawasan Senayan dengan pemancar TVRI Stasiun DKI yang relatif berjauhan, maka gangguan yang dikenal sebagai interferensi masih berlangsung terus selama BTS tersebut beroperasi. Kedua kondisi pasangan perangkat elektronik itu berbeda situasinya, yaitu, pasangan pertama mempunyai jarak yang dekat, sementara pasangan perangkat kedua mempunyai jarak yang berjauhan satu sama lain.

Pada pasangan perangkat pertama situasinya masih dalam jangkauan induksi sumber GEM yang tidak peduli berapapun frekuensi yang dipancarkan, sedangkan

pada pasangan perangkat kedua dapat dipastikan mempunyai spektrum pita frekuensi yang sama atau tumpang tindih. Sehingga, apabila kondisi pasangan kedua tersebut bekerja dengan frekuensi kerja yang sama sekali berjauhan pita frekuensinya, maka interferensi tidaklah mungkin terjadi secara teori. Misalkan saja antara pancaran siaran televisi dengan radio komunikasi *citizen-band*. Atau perangkat telepon seluler GSM dengan perangkat telepon seluler CDMA walaupun unit tersebut relatif berdekatan.

Tetapi fenomena yang gemanya bergulir terus sampai saat ini sebagai satu info yang kemudian diterima oleh masyarakat umum sebagai info yang benar adalah, pengaruh penggunaan telepon seluler di dalam penerbangan (*on board*) yang dapat menjadi salah satu faktor penyebab terjadinya kecelakaan pesawat terbang komersial, baik ringan maupun fatal. Seperti telah diketahui bahwa kedua sistem tersebut, yaitu telepon seluler dan peralatan navigasi umumnya, masing-masing bekerja pada pita frekuensi 900/1800/2000 MHz dan 100 ~ 200 MHz.

Beberapa kasus tertentu dapat mudah diperoleh informasinya melalui *browsing* Internet diantaranya adalah, 'Kecelakaan pesawat di landas pacu bandara Heathrow-Inggris', 'Kecelakaan pesawat di Swiss', atau mendadak matinya mesin jet yang sedang diujicoba di pusat pemeliharaan pesawat di Italia akibat salah satu teknisinya menyalakan ponselnya. Dilaporkan untuk ketiga peristiwa tersebut bahwa penyebab kejadian itu adalah telepon seluler. Ternyata berita yang belum pasti keabsahannya, dikutib oleh beberapa situs '*pribadi*' dan ditambahkan kemudian dengan pengalaman-pengalaman pribadi pengelola situs tersebut sehingga menjadi berita baru dan '*hangat*'. Sehingga akibatnya, setiap *netter* akan mendapatkan bahwa fenomena tersebut adalah benar karena dia menemukan berita sejenis di beberapa situs yang berbeda Dan kondisi ini terus bergulir dan berkembang.

Namun faktanya, memang beberapa negara di beberapa kawasan di dunia melarang penggunaan telepon seluler oleh penumpangnya ketika *on board*. Tetapi fakta lain menunjukkan bahwa FCC (*Federal Communication Committee*) sebagai pihak otoritas pengaturan penggunaan frekuensi di Amerika Serikat, menggantungkan larangan itu yang mempunyai maksud bahwa, apabila ternyata dari hasil penelitian menunjukkan telepon seluler tidak berpengaruh dalam penerbangan, maka larangan itu akan dicabut. Perkembangan terakhir menyatakan bahwa, beberapa perusahaan penerbangan di dunia diantaranya salah satu maskapai penerbangan di Amerika Serikat sendiri, yaitu *AirTran Airways* yang sebelumnya memang menetapkan larangan itu, kemudian mencabutnya per Tahun 2009. Maskapai penerbangan bersangkutan menyediakan akses Wi-Fi *on board* pada armada pesawat Boeing 737 seriesnya.

1.1. Hipotesa

Dari fenomena penerbangan komersial yang diuraikan di atas mewujudkan satu kontradiksi antara benar berpengaruh dan tidak berpengaruh apa-apa satu unit telepon seluler terhadap peralatan navigasi penerbangan. Jadi dalam kasus tersebut terdapat satu permasalahan yang perlu dikaji.

Permasalahan itu adalah, sejauh mana tingkat gangguan karena penggunaan peralatan elektronik khususnya telepon seluler terhadap kinerja peralatan navigasi udara, dapat terdeteksi dan dirasakan pengaruhnya?

Dari permasalahan itu kemudian, satu *hipotesa* dapat dibangun, yaitu, bahwa *unit telepon seluler tidak akan mempunyai potensi mengganggu peralatan navigasi penerbangan*. Hal ini yang perlu dibuktikan dalam kajian yang dilakukan.

Selanjutnya, pembahasan dan penelitian dalam paper ini dibatasi pada fenomena-EMC / EMI (*electromagnetic compatibility / electromagnetic interference*) yang terjadi pada pesawat jenis Boeing 737-800 mengingat pesawat jenis tersebut masih banyak dioperasikan di dunia, termasuk PT Garuda Indonesia. Disamping itu, pesawat jenis tersebut termasuk jenis pesawat generasi baru dalam jajaran produk perusahaan Boeing.

1.2. Tujuan dan Manfaat Penulisan

Untuk mengetahui sejauh mana tingkat gangguan karena penggunaan peralatan elektronik khususnya telepon seluler terhadap kinerja peralatan navigasi udara. Penulisan dengan topik ini akan memberikan hasil satu jawaban bagaimana sesungguhnya posisi telepon seluler dalam setiap kecelakaan penerbangan, serta ketaatan publik terhadap perundangan terkait yang ditinjau secara akademis.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Dalam pembahasan Bab Tinjauan Pustaka diuraikan landasan teori yang digunakan sebagai acuan untuk melakukan langkah penelitian yang meliputi, bagaimana satu energi gelombang elektromagnetik dihasilkan, bagaimana melindungi satu rangkaian elektronik terhadap pengaruh interferensi dari sumber bersangkutan, dan bagaimana standar yang berlaku di dunia untuk membatasi emisi level daya gelombang tersebut menyebar ke sekelilingnya. Basis keilmuan tersebut dikelompokkan dalam satu disiplin, yaitu EMC (*Electromagnetic Compatibility*).

2.1. Mekanisme Induksi

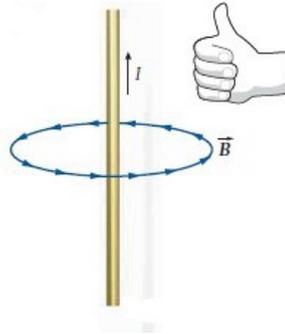
Pancaran gelombang elektromagnetik (GEM) bermula dari sistem antena satu pemancar atau bagian sumber yang bertindak sebagai antena. Pancaran GEM ini sebetulnya adalah energi sinyal listrik dan magnetik yang dihasilkan oleh rangkaian elektronik dan kemudian disalurkan secara terbimbing oleh saluran yang disebut *feeder (coaxial cable)* ke sistem antena. Tetapi karena sistem antena pada hakekatnya adalah satu saluran yang berujung terbuka, maka energi tersebut disebarkan ke udara, sehingga menjadi tidak terbimbing.

Pertanyaannya, bagaimana batang atau elemen antena itu dapat memancarkan dua medan, yaitu medan listrik dan medan magnet yang selalu tegak lurus satu sama lain. Pada dasarnya, satu konduktor yang dialiri arus (dc maupun ac) akan menghasilkan medan listrik dan medan magnet di sekitar konduktor tersebut seperti ditunjukkan oleh 'Kaidah tangan kanan-Pertama'¹ pada Gbr. 2-1.

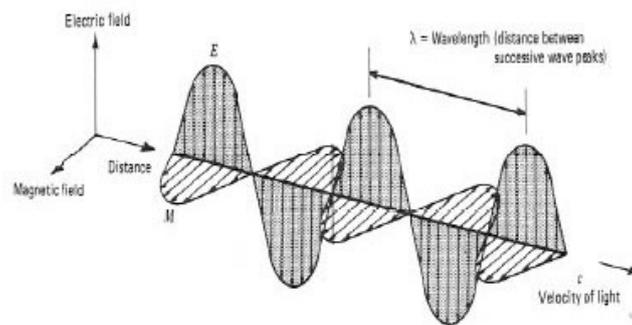
Pada Gbr. 2-1, arah ibu jari menunjukkan arah arus listrik dalam batang konduktor tembaga yang dapat merupakan batang antena, sementara arah keempat jari yang lain menunjukkan arah medan magnet sehingga medan magnet adalah

¹ Tipler, Paul A. (2008); *Physic for Scientists and Engineers*, Sixth Ed, p928, Freeman and Co, England.

besaran vektor. Sementara arah medan listrik terpancar dari batang tembaga secara radial, sehingga pola kedua medan itu di ruang bebas sebagai fungsi waktu seperti ditunjukkan pada Gbr. 2-2, yaitu saling tegak lurus satu sama lain. Bila kemudian arus listrik yang mengalir adalah arus bolak-balik, maka arah medan listrik maupun medan magnet akan terjadi sebaliknya secara bergantian sesuai polaritas arus bolak-balik tersebut.

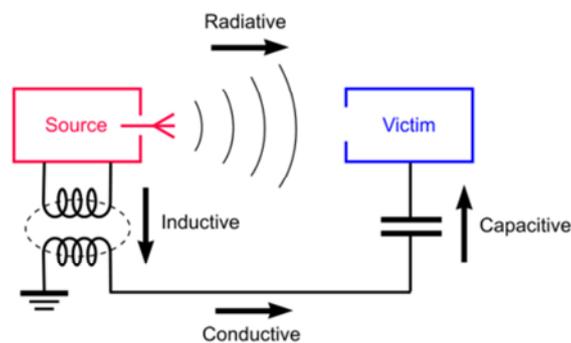


Gbr. 2-1 Kaidah Tangan Kanan-Pertama



Gbr. 2-2 Arah orientasi medan Listrik dan Magnet serta rambatan di ruang bebas.²

Energi pancaran GEM ini dapat menginduksi setiap bahan yang berada disekitarnya terutama bahan logam. Induksi tersebut dapat menghasilkan energi panas pada bahan metal atau *noise* bila obyek terpaan itu berbentuk satu rangkaian elektronik. Persoalan yang berhubungan dengan pembahasan paper ini adalah fenomena yang kedua, yaitu obyek terpaan berbentuk rangkaian elektronik.



Gbr. 2-3 Empat jalur interferensi energi GEM sampai ke *victim*.

² Ibid, p1040

Pengaruh atau interferensi yang biasa digolongkan sebagai sinyal *noise*, sebetulnya dapat mencapai obyek atau disebut sebagai *victim*, melalui empat kemungkinan jalur, yaitu, secara konduktif, reaktif, atau secara radiatif. Secara reaktif terbagi menjadi dua jenis, yaitu, magnetic coupling dan electrical coupling. Magnetic coupling disebut sebagai induktif, sedang electrical coupling disebut sebagai hubungan kapasitif. Keempat jalur pengaruh pancaran GEM tersebut ditunjukkan secara skematik pada Gbr. 2-3.

Pengaruh yang bersifat konduktif bila antara sumber dan *victim* tersambung langsung, melalui saluran transmisi, atau alur-alur *printed circuit board*. Sedang induktif terjadi bila antara sumber dan *victim* dipisahkan dalam jarak yang dekat (kurang dari satu panjang gelombang, λ). Sementara untuk pengaruh secara kapasitif terjadi bila jarak antara sumber dan *victim* sangat dekat yang biasa disebut dengan istilah *gap*, misalnya antara dua konduktor yang berdekatan sehingga terbentuk satu kapasitor keping sejajar dengan satu nilai kapasitansi tertentu. Dengan demikian, proses terpengaruh secara induktif dan kapasitif dapat terjadi bersama-sama (*near-field*).

Sementara proses interferensi yang terjadi secara radiatif berlangsung bila sumber dan *victim* terpisah relatif jauh yang lebih dari beberapa panjang gelombang, λ . Satu referensi mengatakan bahwa, jarak yang lebih besar dari 2λ , interferensi yang terjadi sudah bersifat radiatif (*far-field*), (*OSHA Cincinnati Laboratory, 1990*). Sumber dan *victim* dalam hal ini berlaku sebagai satu antena, dimana sumber memancarkan energi GEM melalui media udara (*open space*) dan tertangkap oleh *victim* melalui *body* yang terbuat dari bahan metal, alur-alur *printed circuit* dan menghasilkan sinyal *noise* pada rangkaian *victim*.

Interferensi secara umum didefinisikan sebagai pengaruh pancaran gelombang elektromagnetik (EMI, *electromagnetic interference*) kepada satu sistem elektronik sehingga dapat mengganggu kinerja sistem tersebut.

Dalam masing-masing proses induksi ini terdapat ciri-ciri tersendiri yang berkaitan dengan besaran medan listrik dan magnet yang dihasilkan ketika pada satu konduktor mengalir arus seperti ditunjukkan pada Gbr. 2-1.

Proses induktif dihasilkan sebagai peranan medan magnet yang dapat melingkupi rangkaian yang terinduksi. Proses induktif dapat berlangsung karena terjadinya perubahan flux magnet setiap saat seperti dinyatakan oleh *Persamaan Faraday* atau Hukum Faraday³ [Persamaan (2-1)].

$$\varepsilon = -\frac{d\phi}{dt} \dots\dots\dots (2-1)$$

dimana :

- ε = *emf*, gaya gerak listrik akibat induksi magnet (*volt*)
- ϕ = rapat flux magnet (*weber*)
- $\frac{d\phi}{dt}$ = perubahan nilai flux magnet per detik

2.1-1. Usaha mengatasi Induksi

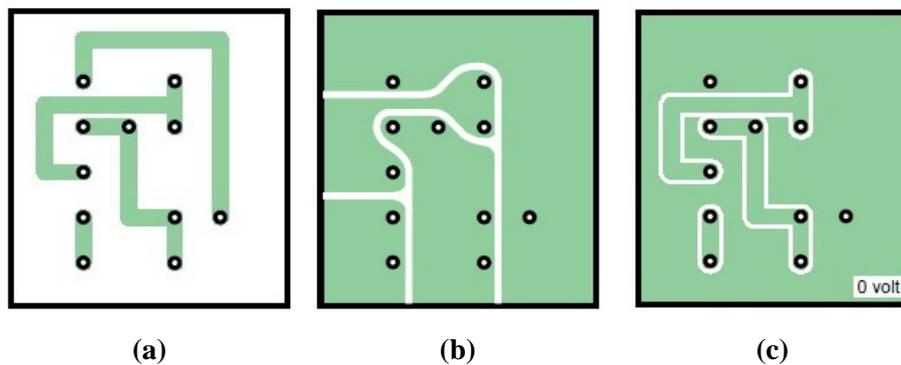
Satu-satunya jalan untuk mengurangi pengaruh interferensi tersebut adalah memutus jalur interferensi itu agar tidak dapat mencapai *victim*. Untuk jalur reaktif misalnya, antara sumber dan *victim* ditambah jarak pisahnya, atau

³ Ibid, p288

memperkecil daya sumber. Tetapi bila itu semua tidak dapat dilakukan, maka cara yang biasa diterapkan adalah, membuang sinyal *noise* tersebut ke *ground* dengan membuat alur ke *ground*. Untuk bidang RF, *ground* tersebut selebar bidang yang mungkin (*ground plane*) seperti misalnya pada *printed circuit board*. Contoh *pc-board* yang menerapkan *ground-plane* ditunjukkan pada Gbr.2-4(c).

Dengan desain *pc-board* rancangan awal Gbr. 2-4(a), alur-alur *pc-board* akan dapat berfungsi sebagai *antena-loop*, sehingga dapat memancarkan energi di sekitar *pc-board* yang berlaku sebagai *source*. Dengan bentuk demikian itu, maka dapat mudah juga menerima induksi GEM, yaitu sebagai *victim*.

Rancangan layout *minimum etching* akan mengurangi efek radiasi (sebagai *source*) dan mengurangi sensitivity (sebagai *victim*). Sedang layout *ground plane* akan memberikan pengurangan jalur induksi elektromagnetik, sehingga kebal terhadap pengaruh induksi (sebagai *victim*).



Gbr. 2-4 Rancangan *printed circuit board*⁴ :
(a) layout awal, (b) *minimum etch*, (c) layout *ground plane*.

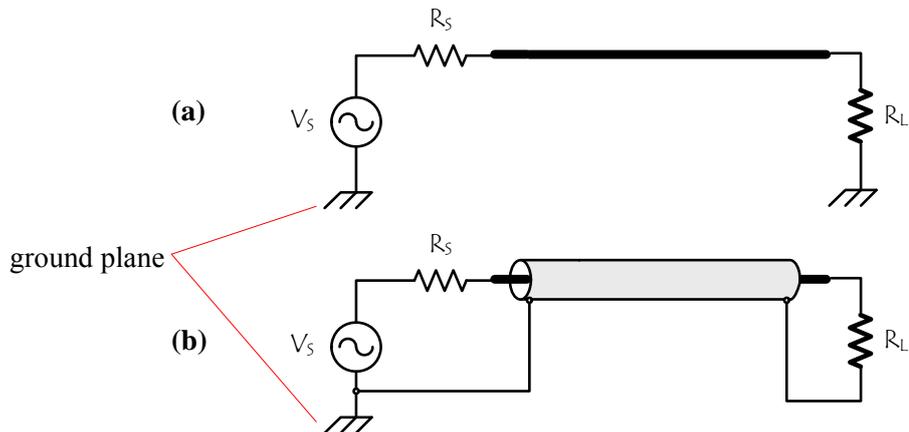
Pengaruh induksi elektromagnetik dapat menyebabkan satu peralatan elektronik tidak berfungsi sebagaimana mestinya, baik sesaat atau beberapa saat atau bahkan permanen sifatnya. Tidak berfungsinya satu peralatan akibat induksi tersebut dapat dikategorikan menjadi empat kondisi, yaitu :

- ✓ permanen dan dapat terukur,
- ✓ acak dan tidak berulang, atau akan terjadi bila sumber gangguan muncul,
- ✓ acak dan tidak berulang, dengan kondisi tidak segera hilang beberapa saat ketika sumber gangguan telah berhenti,
- ✓ kerusakan permanen, yaitu ketika beberapa komponen terusakan.

Ilustrasi selanjutnya adalah, bagaimana pengaruh medan elektromagnetik masuk ke satu rangkaian elektronik dan bagaimana mengeliminasi pengaruh kedua medan tersebut masuk ke rangkaian. Proses induksi tersebut dilukiskan pada Gbr.2-5. Fenomena ini kemungkinan dapat terjadi dari *cabin* (tempat duduk penumpang) yang akan masuk ke jalur-jalur komunikasi data yang diinstal sepanjang badan pesawat (jenis pesawat yang beroperasi dengan sistem *fly by wire*). Tanpa *shielding* yang dilukiskan pada Gbr. 2-5(a), maka interferensi tersebut dapat masuk melalui jalur sinyal data. Sinyal *noise* interferensi menyatu

⁴ Delaballe, J. (2001); *EMC: electromagnetic compatibility*, Cahier Technique Schneider Electric no.149, p15, France.

dengan sinyal data sampai ke beban R_L . Usaha melakukan *shielding* tersebut pada dasarnya memberikan jalur tertutup (*loop*) bagi sinyal interferensi itu sehingga mempunyai efek nihil menurut *Hukum Gauss* dan *Hukum Ampere*. Konstruksi *shielding* itu membentuk satu sangkar-Faraday (*Faraday cage*). Akibatnya, yaitu jalur data akan aman terhadap interferensi medan listrik maupun medan magnet, (*Wentworth 2001, p.531*). Sekaligus sistem tersebut tidak dapat menyebarkan energi GEM yang dihasilkannya (sebagai *source*).



Gbr. 2-5 Induksi melalui jalur transmisi :
(a) tanpa *shield*, (b) dengan *shield* tersambung ke *ground plane*.

2.1-2. Mengatasi Induksi dengan Shield

Di atas dijelaskan cara melindungi *victim* dari induksi yang umumnya membuang sinyal *noise* tersebut ke *ground*. Hal yang sama dilakukan juga pada sumber pancaran, yaitu membuat satu rekayasa agar pancaran GEM yang dihasilkan tidak mengganggu kepada peralatan elektronik di sekitarnya termasuk penggunaannya. Rekayasa tersebut diantaranya adalah menentukan nilai ambang batas pancaran sumber tersebut. Disini kemudian jelas definisi dari *EMC*, yaitu suatu keadaan peralatan di lingkungan medan elektromagnetik dimana unit tersebut tidak terpengaruh kinerjanya (sebagai *victim*) oleh lingkungan dan juga unit tersebut (sebagai *source*) tidak mengganggu peralatan lain di dekatnya.

Satu contoh unit telepon seluler produk *vendor* tertentu yang merancang satu *shield* untuk melindungi rangkaiannya (*victim*) dan juga penggunaannya (*source*) seperti ditunjukkan pada Gbr. 2-7. *Shield* terbuat dari bahan metal yang mahal (*mumetal*, 5%Cu+2%Cr+77%Ni)⁵ ataupun yang murah seperti tembaga dan aluminium (*Wentworth 2001, p.526*). *Shield* tersebut mempunyai ketebalan lebih dari *skin depth* untuk sinyal yang menginduksi tersebut. *Skin depth*⁶ dimaksud ditunjukkan formulanya pada Persamaan (2-2).

⁵ Nishino, O., Sapiie, S. (1979); *Pengukuran dan Alat-Alat Ukur Listrik*, Pradnya Paramita, Jakarta, h.271.

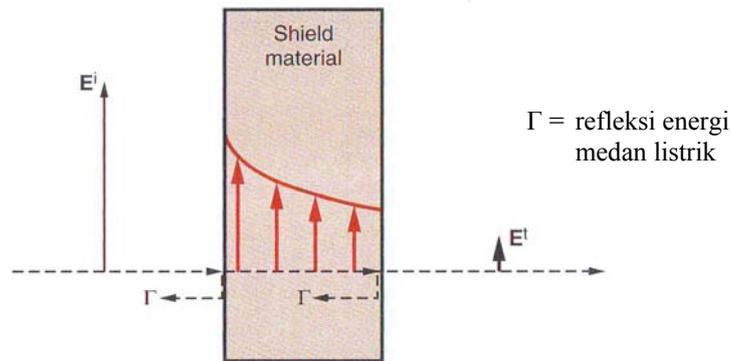
⁶ Delaballe, J., loc cit, p.14-15

$$\delta = \left[\frac{2}{\mu\sigma\omega} \right]^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2-2)$$

dimana :

- μ = $\mu_r \mu_o$ = permeability bahan metal (*henry/meter*)
- μ_o = $4\pi \times 10^{-7}$ (*henry/meter*)
- σ = conductivity bahan metal (*Siemens*)
- ω = kecepatan sudut sinyal induksi (*radian*) = $2\pi f$

Bila bahan aluminium yang digunakan, dimana nilai μ dan σ aluminium masing-masing adalah, μ_o H/m, dan $(3,8 \times 10^7)$ Siemens/m, maka nilai ketebalan *shield* bahan aluminium tersebut pada frekuensi sinyal 900 MHz minimal sebesar, 0,0272 mm.



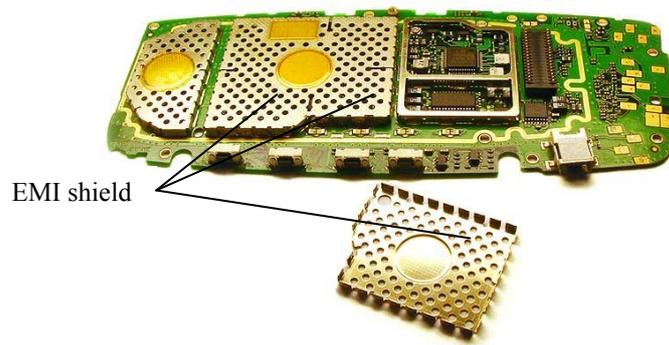
Gbr. 2-6 Induksi melalui *shield*

Sehubungan dengan penggunaan *shield* elektromagnetik ini, maka terdapat satu definisi, yaitu, efektivitas *shielding* (SE, *shielding effectiveness*) yang didefinisikan sebagai *ratio* intensitas medan listrik (E_{ns}) yang jatuh di permukaan *shield* dengan intensitas medan listrik setelah menembus *shield* (E_s). Nilai tersebut dinyatakan dalam satuan *dB* dengan formula seperti dinyatakan oleh Persamaan (2-3), dalam bentuk intensitas medan listrik atau medan magnet. Ilustrasinya ditunjukkan pada Gbr. 2-6.

$$SE = 20 \log \left(\frac{|E_{ns}|}{|E_s|} \right) = 20 \log \left(\frac{|H_{ns}|}{|H_s|} \right) \text{ (dB)} \dots\dots\dots (2-3)$$

dimana :

- E_{ns} = intensitas medan listrik langsung (*volt/meter*)
- E_s = intensitas medan listrik dengan *shield* (*volt/meter*)
- H_{ns} = intensitas medan magnet langsung (*amper/meter*)
- H_s = intensitas medan magnet dengan *shield* (*amper/meter*)



Gbr. 2-7 Unit *handphone* dengan kelengkapan *shield*

Sehingga apabila nilai intensitas medan listrik tanpa *shield* terukur sebesar 0,6 volt/m, dan setelah digunakan *shield* terukur sebesar 0,6 milivolt/m, maka nilai efektivitas *shielding* mencapai 60 dB. Satu contoh produk yang dilengkapi *shield* ditunjukkan pada Gbr. 2-7, yaitu satu produk *handphone*.

Nampak pada jenis *shield* Gbr. 2-7 adanya beberapa lubang pada permukaannya. Lubang-lubang tersebut berfungsi untuk ventilasi dengan ukuran diameter yang tidak lebih besar dari panjang gelombang, λ , sinyal GEM yang menerpanya, ([28] <http://en.wikipedia.org>). Terdapat dua pola lubang yang dirancang seperti ditunjukkan pada Gbr. 2-8.

Ukuran-ukuran yang menyertainya adalah, a , b , dan d yang masing-masing adalah,

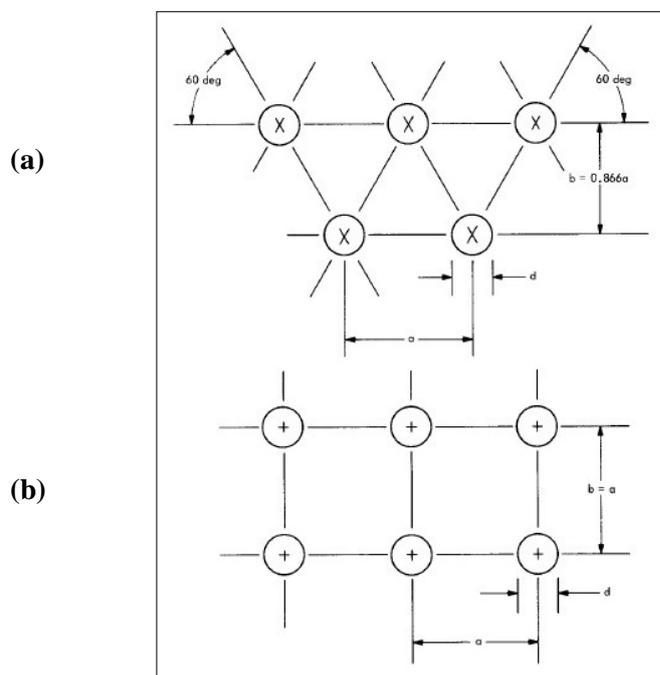
- a = jarak antar lubang pada satu baris pada pola (a) maupun (b)
- b = jarak antar lubang pada baris berbeda pada pola (a) maupun (b)
- d = diameter lubang

Dengan pola lubang tersebut, *shield* akan memberikan redaman sebesar,

$$T_{dB} = 10 \log_{10} \left[1 + \frac{1}{4} \left(\frac{3ab\lambda_0}{\pi d^3 \cos \theta_i} \right)^2 \right] + \frac{32t}{d} \dots\dots\dots (2-4)$$

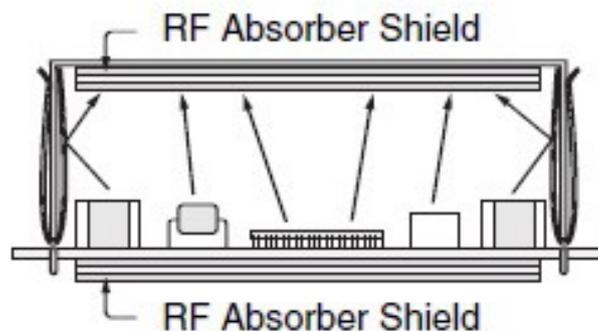
dimana :

- a = jarak antar lubang pada satu baris pada pola (a) maupun (b)
- b = jarak antar lubang pada baris berbeda pada pola (a) maupun (b)
- θ_i = sudut datang berkas gelombang elektromagnetik terhadap normal
- t = tebal pelat *shield*
- d = diameter lubang
- λ_0 = panjang gelombang sinyal elektromagnetik yang menerpa *shield*
- $d \leq \lambda_0$



Gbr. 2-8 Pola lubang ventilasi RF *shield*
(a) pola segitiga samasisi, (b) pola segiempat.

Sebagai sisi sumber, *shield* akan mencegah hamburan energi gelombang elektromagnetik dari rangkaian keluar seperti dilukiskan sebagai tampak samping satu *pc-board* pada Gbr. 2-9.

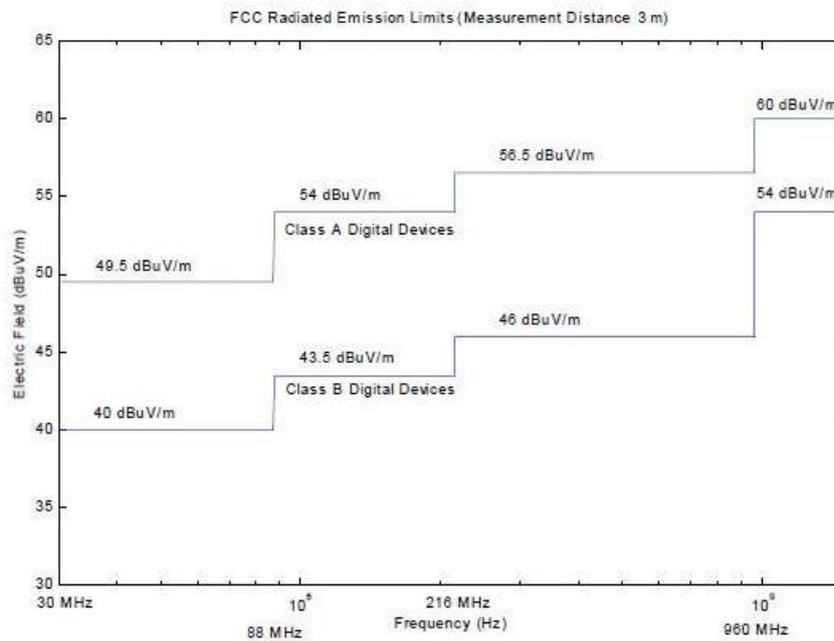


Gbr. 2-9 Peranan RF *shield* pada *pc-board*

Tentu saja ketahanan *shield* tersebut menahan pengaruh medan elektromagnetik atau biasa disebut sebagai *susceptibility* atau dapat dimengerti sebagai *immunity*, mempunyai nilai ambang batas. Nilai ambang batas tersebut sudah distandarkan secara internasional dan berusaha diacu oleh *vendor* untuk perangkat produknya (merupakan spesifikasi teknik). Beberapa produk peralatan elektronik terbagi menjadi dua kelompok, yaitu kelompok Kelas-A dan kelompok Kelas-B (standar FCC⁷ ataupun CISPR 22⁸). Kelompok Kelas-A adalah kelompok

⁷ FCC, singkatan dari *Federal Communication Committee*, adalah badan otoritas pengatur pemanfaatan frekuensi di Amerika Serikat.

peralatan komersial, industri, dan bisnis, seperti mesin fotocopy, telepon seluler. Sedang kelompok Kelas-B adalah kelompok peralatan rumah tangga, seperti *juicer, microwave oven*. Tetapi komputer termasuk dalam subkategori Kelas-B.



Gbr. 2-10 Grafik nilai ambang batas level EMI

Kedua kelompok itu dibedakan persyaratan EMI-nya, dimana Kelas B mempunyai persyaratan yang lebih ketat karena seperti disebutkan di atas, kelompok peralatan tersebut berada dalam lingkungan rumah tinggal atau permukiman. FCC maupun CISPR membagi kedua peralatan tersebut dalam berbagai kelompok frekuensi dari 9 kHz sampai 3000 GHz. Nilai ambang batas level EMI berkisar 40 dB μ V/m sampai 60 dB μ V/m untuk sinyal dengan frekuensi 216 MHz sampai 1 GHz. Nilai-nilai tersebut ditunjukkan dalam diagram Gbr. 2-10.

Untuk sinyal GEM dengan frekuensi yang lebih besar dari 1 GHz, baik FCC maupun CISPR telah menentukan nilai batas maksimum level *field strength* seperti ditunjukkan pada Tabel 2-1 yang dikutip dari *European Union's Official Journal*, Nopember 2008, yang berisi satu amandemen pada CISPR 22 untuk sinyal di atas 1 GHz.

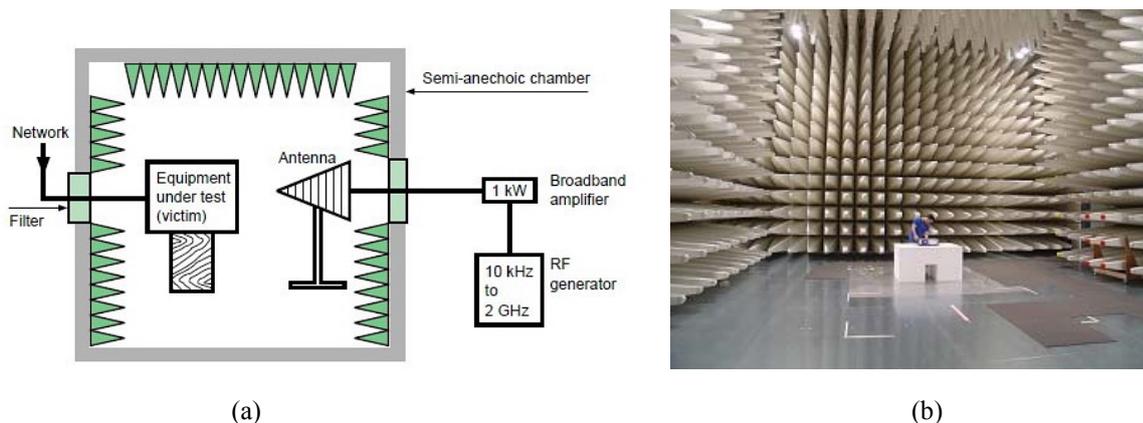
Tabel 2-1 Nilai Batas Field Strength untuk Sinyal 1 GHz – 6 GHz

Kalang	Kelas A	Kelas B
--------	---------	---------

⁸ CISPR (*Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques*) yang dalam Bahasa Inggrisnya adalah *International Special Committee on Radio Interference*, salah satu lembaga standar Eropa yang menangani bakuan untuk khusus pengaruh medan elektromagnetik dari peralatan elektrikal dan elektronik. Merupakan bagian dari IEC (*International Electrotechnical Commission*). CISPR 22, adalah standardisasi untuk karakteristik gangguan induksi radiatif peralatan Teknologi Informasi (IT).

Frekuensi	FCC ^{Note 1}	CISPR	FCC	CISPR
1 ~ 3 GHz	Avg 60dBμV/m Pk 80dBμV/m	Avg 56dBμV/m Pk 76dBμV/m	Avg 54dBμV/m Pk 74dBμV/m	Avg 50dBμV/m Pk 70dBμV/m
3 ~ 6 GHz	Avg 60dBμV/m Pk 80dBμV/m	Avg 60dBμV/m Pk 80dBμV/m	Avg 54dBμV/m Pk 74dBμV/m	Avg 54dBμV/m Pk 74dBμV/m

Note 1: Nilai batas di atas telah merupakan nilai penyesuaian dari jarak ukur 10 m ke 3 m. Nilai batas untuk jarak 10 m sebesar 49,5dBμV/m pada nilai rata-rata (Avg), dan 69,5dBμV/m pada nilai puncak (Pk).



Gbr. 2-11 Ruang pengujian EMC (*semi-anechoic chamber*)
 (a) diagram struktur dinding, (b) foto ruang

Nilai yang ditunjukkan dalam grafik Gbr. 2-10 dihasilkan dari pengukuran dengan jarak 3 meter dari sumber emisi, sementara jarak standar pengukuran untuk peralatan kategori Kelas-A dan Kelas-B masing-masing seharusnya 10 meter dan 3 meter. Sehingga nilai level untuk Kelas-A disesuaikan agar dapat dibandingkan dengan level EMI peralatan kategori Kelas-B dengan faktor koreksi yang ditambahkan sebesar $20\log_{10}(3/10)$ atau 10,46 dB. Rumusan tersebut disebabkan karena nilai *field strength* berbanding terbalik dengan jarak sumber dan *victim*. Pengukuran dilakukan dalam ruang yang dilengkapi dengan sangkar Faraday (*Faraday cage*) dan mempunyai dinding yang tidak memantul. Sistem ruang ini disebut sebagai *semi-anechoic chamber* yang ditunjukkan ilustrasinya pada Gbr. 2-11.

2.2. Nilai Intensitas Medan Listrik

Intensitas medan listrik terukur dengan satuan (*volt/meter*). Intensitas tersebut terpancar dari sumbernya sejauh *r* meter dari *victim*. Nilai intensitas itu tertentu berbanding terbalik dengan jarak tersebut seperti ditunjukkan oleh Persamaan (2-5).

$$E_o = \frac{\sqrt{30P_T G_T}}{r} \dots\dots\dots (2-5)^9$$

⁹ Roddy, Dennis 1981; *Electronic Communication*, p428.

dimana :

- P_T = daya sumber GEM
- G_T = gain antena sumber GEM
- r = jarak sumber GEM ke titik terima

Persamaan (2-5) tersebut diturunkan dari hubungan antara daya medan elektomagnetik dengan intensitas medan listrik serta impedansi intrinsik ruang bebas seperti ditunjukkan pada Persamaan (2-9). Penurunan Persamaan (2-5) adalah sebagai berikut. Sebagaimana dinyatakan dalam Hukum Ohm, bahwa nilai daya, P , tertentu dari hasil kali tegangan, E , dan arus, I , yang mengalir pada satu resistor R , sehingga nilai arus dapat dinyatakan dalam nilai tegangan, sebesar E/R . Dengan demikian, bila arus dinyatakan dalam nilai tegangan, maka nilai daya dapat tertentu dari hubungan,

$$P = \frac{E^2}{R} \dots\dots\dots (2-6)$$

Persamaan (2-5) berlaku bila media penghubungnya adalah saluran fisik dengan satu nilai resistansi R . Namun Persamaan (2-6) tersebut berlaku juga bila salurannya adalah media non fisik atau media udara yang mempunyai satu nilai resistansi, yaitu impedansi intrinsik yang nilainya tertentu dari nilai permeabilitas dan dielektrik udara seperti ditunjukkan oleh Persamaan (2-7).

$$\eta_o = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = \sqrt{\frac{\mu_o\mu_r}{\epsilon_o\epsilon_r}} = 377 \text{ (ohm)} \dots\dots\dots (2-7)$$

dimana :

- μ = permeabilitas udara
= $\mu_o\mu_r = 4\pi \times 10^{-7}$ henry/meter
- μ_r = permeabilitas relatif udara = 1
- ϵ = permeabilitas udara
= $\epsilon_o\epsilon_r = 8,854 \times 10^{-12}$ farad/meter
- ϵ_r = dielektrik relatif udara = 1

Dalam hal pancaran energi GEM sebagai sumber titik (antena isotropis), maka kerapatan daya tertentu dari Persamaan (2-10), karena pancaran tersebut menyebar sesuai dengan permukaan satu bola.

$$P_{Di} = \frac{P_T}{4\pi r^2} \dots\dots\dots (2-8)$$

dimana :

- P_{Di} = kerapatan daya pancaran dari antena isotropis ($watt/m^2$)
- P_T = daya pemancar
- r = jarak satu titik dari posisi sumber pancaran ($meter$)

Sehingga kerapatan daya karena satu sistem antena tertentu dari nilai perkalian Persamaan (2-8) dengan nilai gain antena bersangkutan, G_T . Sehingga dari Persamaan (2-8) diperoleh Persamaan (2-9).

$$P_D = \frac{P_T \times G_T}{4\pi r^2} \dots\dots\dots (2-9)$$

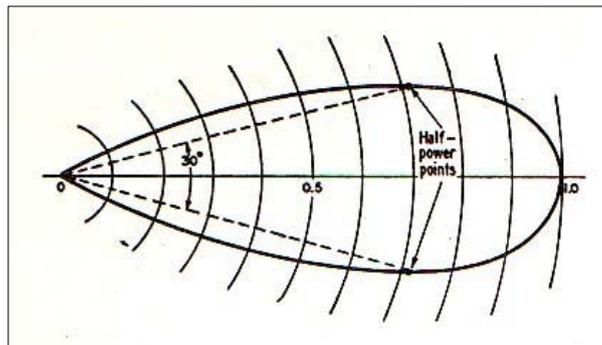
Sementara nilai kerapatan daya yang dinyatakan dengan intensitas medan listrik GEM sesuai Persamaan (2-6) adalah,

$$P_D = \frac{E^2}{\eta_o} \dots\dots\dots (2-10)$$

Dengan substitusi nilai impedansi intrinsik udara dan Persamaan (2-9) ke dalam Persamaan (2-8), maka diperoleh atau terbukti hubungan yang dinyatakan dalam Persamaan (2-6).

Persamaan (2-5) berlaku untuk posisi penerimaan yang maksimum, yaitu dengan posisi titik terima pada arah tegak lurus radiator antenna sehingga menerima kuat medan yang maksimum (perhatikan Gbr. 2-12). Gbr. 2-12 adalah diagram pola radiasi satu antenna *unidirectional*. Untuk posisi lain dari titik terima, maka nilai kuat medan tersebut tertentu secara umum seperti ditunjukkan oleh persamaan (2-11), dimana sudut α adalah sudut yang terbentuk antara arah pancaran dengan garis lurus menuju posisi cockpit dari telepon seluler, dan nilai E_o ditunjukkan besarnya pada Persamaan (2-5).

$$E = E_o \cos \alpha \dots\dots\dots (2-11)$$



Gbr. 2-12 Pola radiasi unidirectional

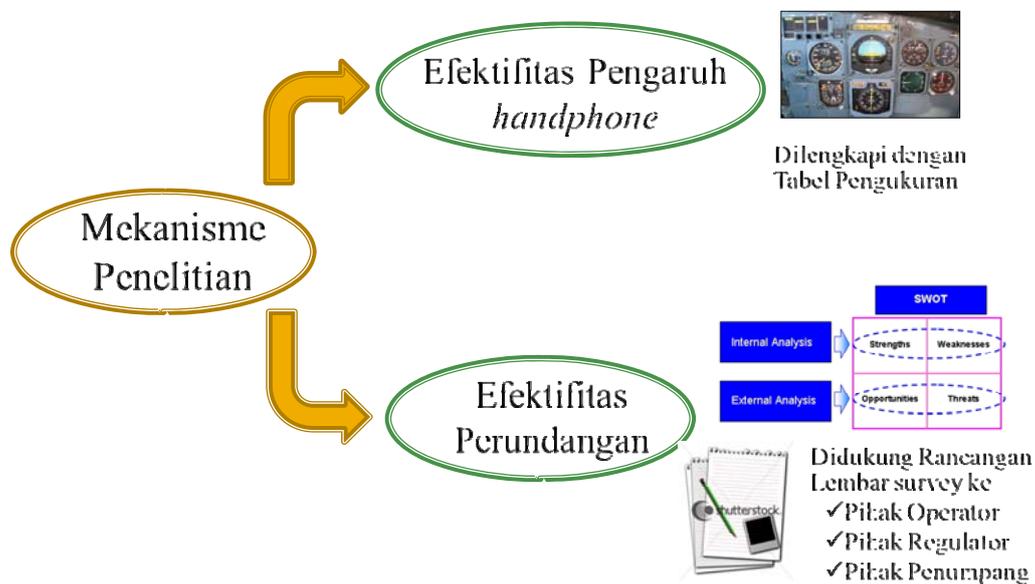


Gbr. 2-13 Tipe antenna unit telepon seluler

Antena dalam posisi mendatar sehingga mempunyai polarisasi horizontal. *Polarisasi* sendiri didefinisikan sebagai arah (*orientasi*) vektor medan listrik

GEM terhadap permukaan bumi yang tertentu dari orientasi radiator satu antena. Bila orientasi radiator vertikal, maka polarisasi pancaran adalah vertikal, dan bila orientasi tersebut horizontal, maka polarisasi pancaran adalah horizontal. Antena unit *handphone* dapat mempunyai posisi horizontal maupun vertikal yang tergantung dari pengguna *handphone* tersebut ketika menggunakannya. Letak antena unit *handphone* pada umumnya seperti dua kemungkinan yang ditunjukkan pada Gbr. 2-13. Karena fenomena induksi yang terjadi pada kasus *handphone* ini mempunyai jarak yang lebih besar dari dua panjang gelombang pancaran terhadap *victim*, maka proses induksi terjadi secara radiatif. Jarak tersebut adalah r pada Persamaan (2-5).

3. METODOLOGI



Gbr. 3-1 Diagram Blok Proses Penelitian

Pada Bagian 3 ini akan diuraikan lebih rinci metodologi penelitian yang dilakukan, yaitu secara deskriptif analisis yang menjelaskan langkah penelitian yang mencoba mendeskripsikan obyek permasalahan seperti keadaan lapangan dan melakukan analisa data perolehan, sehingga dapat memberikan hasil yang akan membuktikan dan menjawab permasalahan. Secara diagram dilukiskan metoda penelitian dimaksud pada Gbr.3-1, menunjukkan bahwa penelitian dilakukan melalui dua alur, aspek teknik dengan pengukuran lapangan, dan aspek regulasi melalui penyebaran angket kepada responden yang tertentu. Tetapi dalam paper ini hanya diuraikan sisi tekniknya saja, yaitu, efektifitas pengaruh telepon seluler terhadap peralatan navigasi.

3.1. Penelitian Aspek Teknik

Dari aspek teknik akan dilakukan dua jenis pengukuran, yaitu, yang pertama, lebar bidang RF pancaran telepon seluler GSM dan CDMA yang dilakukan sebelumnya di Lab Elektro di Kampus Meruya, dan yang kedua,

Pembacaan FSM (mV/m)										
Nilai rata-rata Kuat Medan ($dB\mu V/m$)										
Skala Kuat Medan										
Skala Pengaruh										
Skala Kondisi Turbo jet										
Level kuat medan listrik : 1 = 10~30 $dB\mu V/m$ 4 = 51~60 $dB\mu V/m$ 2 = 31~40 $dB\mu V/m$ 5 \geq 60 $dB\mu V/m$ 3 = 41~50 $dB\mu V/m$ *) pilih salah satu	Pengaruh : 1 = tidak berpengaruh 2 = kecil 3 = sedang 4 = besar 5 = sangat besar					Kondisi jet : 1 = normal 2 = tersendat <i>intermittent</i> 3 = tersendat sering 4 = mati				

Dari sederetan pengukuran tersebut diharapkan satu hasil kondisi pengaruh yang sesuai atau mendekati keadaan sebenarnya yang terjadi. Kondisi pengaruh tersebut dapat terukur dari nilai grade 1~5 atau 1~4 yang direncanakan untuk pengukuran bersangkutan. Untuk lebih mendapatkan gambaran tentang *grade* tersebut, diilustrasikan kembali lembar pengukuran bersangkutan pada Tabel 3-1. Langkah pengukuran dilakukan melalui urutan sebagai berikut :

- [1] satu *hp* sistem GSM di *on* kan pada masing-masing zona,
- [2] diukur nilai kuat medan listrik di area *cockpit* beberapa saat sambil mengamati pengaruhnya pada instrumen navigasi. Langkah [2] ini dilakukan untuk *mode standby* maupun *mode communication*. Untuk *mode communication*, dilakukan secara berulang pemutusan dan penyambungan kembali komunikasi sambil mengamati pengaruhnya.
- [3] diamati pengaruhnya pada bekerjanya turbojet.
- [4] kemudian dilakukan juga langkah 1 ~ 3 untuk ponsel sistem CDMA.

Semua data hasil pengukuran dicatat pada tabel survey yang telah direncanakan. Secara kasar dari data tersebut dapat diketahui keterkaitan pengaruh induksi GEM kepada instrumen dengan posisi *hp* pada zona dalam kabin pesawat bersangkutan. Seluruh pengukuran tersebut dilakukan dalam kabin pesawat yang sedang diuji coba setelah pemeliharaan rutin.

4. SAJIAN DATA DAN ANALISISNYA

Data yang diperoleh adalah dari pengukuran lapangan yang dilakukan di dalam cockpit seperti dijelaskan pada Bab tentang Metode Penelitian di atas. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur seperti ditunjukkan unitnya pada Gbr. 4-2. Dengan data ukur tersebut kemudian diamati adakah pengaruhnya terhadap peralatan navigasi pesawat.

4.1. Data Pengukuran Lab

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan *field strength* meter digital yang akan mencatat kuat medan listrik dalam satuan mvolt/m. Karena pengukuran dilakukan pada area *cockpit* (area sesungguhnya), diharapkan kuat medan listrik

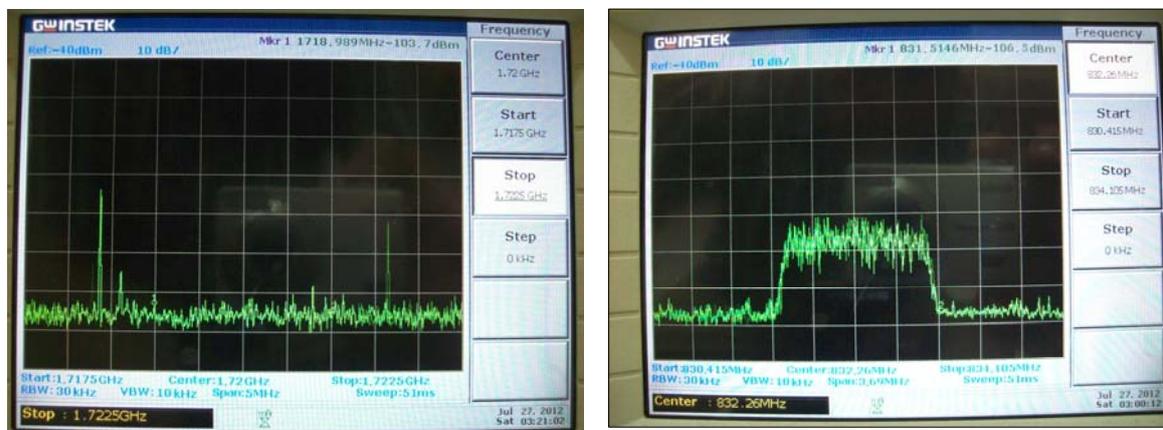
yang terukur benar-benar hanya dari telepon seluler sumber yang diletakkan di zona *cabin*. Untuk lebih memberikan akurasi pengukuran, maka dilakukan juga pengukuran bandwidth RF pancaran telepon seluler dengan unit *spectrum-analyzer* yang dilakukan di laboratorium pascasarjana elektro di kampus Meruya.

Tabel 4-1 Hasil Pengukuran Pancaran dengan Spectrum Analyzer

	Bandwidth (MHz)	Frekuensi (MHz)	Skala Spectrum Analyzer (dBm)	
			Posisi Horizontal	Posisi Vertikal
GSM	Sekitar 0,342	Pita 1717,5 ~ 1722,5	< - 73	- 73
CDMA	1,69	Pita 830,415 ~ 834,105	- 90	- 80

Dari semua hasil pengamatan bersangkutan, nilai ukur yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 4-1 serta ilustrasi tampilan sinyal RF pada layar spectrum analyzer pada Gbr. 4-1. Nilai ukur tersebut pada Tabel 4-1 (kolom posisi vertikal) masing-masing sesuai dengan level $69 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$ dan $55,6 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$. Nilai level ini masih mendekati level standar CISPR (perhatikan Gbr. 2-10 dan Tabel 2-1).

Hasil ini dapat menjadi referensi pada saat pengukuran di lokasi GMF Cengkareng, khususnya di *cockpit* pesawat Boeing 747-800.



(a)

(b)

Gbr. 4-1 Ilustrasi foto spektrum frekuensi
(a) GSM, (b) CDMA

4.2. Data Ukur di Cockpit

Pengukuran dilakukan dengan *field strength meter* digital seperti unitnya ditunjukkan pada Gbr. 4-2. Dengan diagram pengukuran yang telah dirancang sebelumnya seperti ditunjukkan pada Gbr.4-3 dicatat jarak *seat* dari *cockpit* dan

data ukur. Kemudian semua data ukur tersebut dipindahkan ke Tabel 4-2, yang memuat Hasil Pengukuran yang dilengkapi dengan data lain yang menyertainya.



Gbr. 4-2 Alat ukur *field strength*

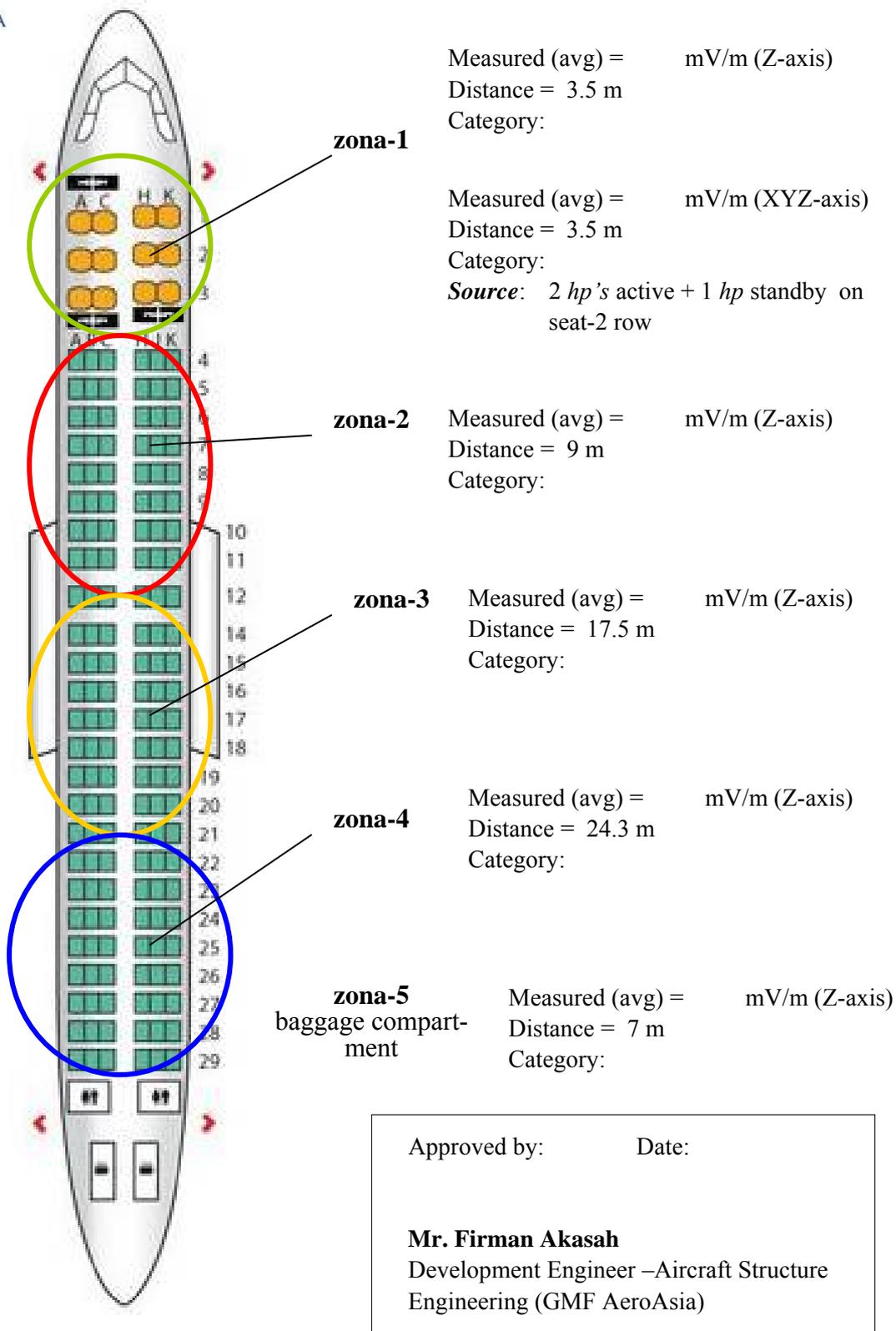
4.3. Analisis-Teknik

Dari data pengukuran dan wawancara yang diperoleh, mengindikasikan bahwa perangkat telepon seluler dalam *cabin* tidak mempunyai pengaruh apapun pada peralatan navigasi penerbangan (dari wawancara dengan pilot Batavia Air), walaupun level *field strength* dapat terukur di seputar *cockpit* pesawat.

Ditunjukkan pada grafik Gbr. 4-4, bahwa level *field strength* pada Zona-1 lebih besar dari zona-zona yang lain sesuai rumusan nilai *field strength* pada Persamaan (2-5). Nilai level *field strength* memang berbanding terbalik dengan jarak sumber pancaran dengan victim, tetapi kadang-kadang untuk seat yang lebih ke belakang nampak lebih tinggi level *field strength*-nya, baik pada sistem GSM maupun CDMA. Hal ini disebabkan karena pada saat itu kemungkinan terjadi penambahan level background yang berasal dari sumber-sumber lain. Sementara dari Zona-5 (bagasi) menunjukkan level pada kisaran 95,7 dB μ V/m karena mendekati dengan seat-4. Hal ini disebabkan karena kompartemen bagasi berada tepat di bawah cabin dimana unit telepon seluler ditempatkan di tengah-tengah ruang bagasi, yaitu kira-kira berjarak 7 m dari cockpit tempat pengukuran. Sementara data '*pengaruh*' dan '*kondisi jet*' dinyatakan sebagai Skala 1.



Draft Hasil Ukur di dalam Cabin Boeing B737-800



Gbr. 4-3 Draft hasil pengukuran field strength



DATA UKUR LAPANGAN (Boeing B737-800)

Tabel 4-2 Hasil Pengukuran Kuat Medan (*field strength*) – mode : *standby/comm.* *)



Item	Pengaruh dari	Zona-1 (seat no.2)		Zona-2 (seat no.7)		Zona-3 (seat no.17)		Zona-4 (seat no.25)		Zona-5 Bagasi	
		GSM	CDMA	GSM	CDMA	GSM	CDMA	GSM	CDMA	GSM	CDMA
Sistem cellular											
Pembacaan FS (<i>mV/m</i>)		80,4	78,8	77,9	81,9	73,9	75,2	71,1	72,3	79,1	71,5
Nilai rata-rata Kuat Medan (<i>dBμV/m</i>)		10,49	8,7	7,89	12,43	4,98	5,75	3,59	4,14	9,05	3,78
Skala Kuat Medan		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Skala Pengaruh **)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Skala Kondisi Jet **)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Level kuat medan listrik :				Pengaruh :				Kondisi jet :			
1 = 10~30 <i>dBμV/m</i> 4 = 51~60 <i>dBμV/m</i> 2 = 31~40 <i>dBμV/m</i> 5 ≥ 60 <i>dBμV/m</i> 3 = 41~50 <i>dBμV/m</i>				1 = tidak berpengaruh 2 = kecil 3 = sedang 4 = besar 5 = sangat besar				1 = normal 2 = tersendat <i>intermittent</i> 3 = tersendat sering 4 = mati			
*) pilih salah satu; posisi alat ukur <i>Z-axis</i> (mendatar ke depan).											
**) hasil wawancara dengan pilot Batavia Air											

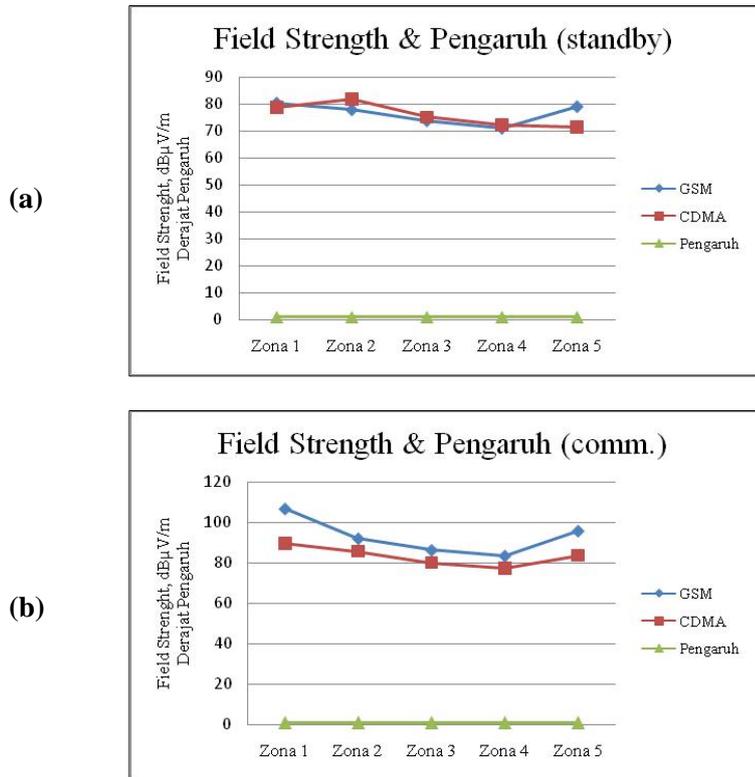


DATA UKUR LAPANGAN (Boeing B737-800)

Tabel 4-2 Hasil Pengukuran Kuat Medan (*field strength*) – mode : *standby/comm.* *)

Item	Pengaruh dari	Zona-1 (seat no.2)		Zona-2 (seat no.7)		Zona-3 (seat no.17)		Zona-4 (seat no.25)		Zona-5 Bagasi	
		GSM	CDMA	GSM	CDMA	GSM	CDMA	GSM	CDMA	GSM	CDMA
Sistem cellular											
Pembacaan FS (<i>mV/m</i>)		217,78	30,98	39,18	19,38	20,15	9,97	14,51	7,18	60,98	15,18
Nilai rata-rata Kuat Medan (<i>dBμV/m</i>)		106,8	89,8	91,9	85,7	86,1	80	83,2	77,1	95,7	83,6
Skala Kuat Medan		5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Skala Pengaruh **)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Skala Kondisi Jet **)		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Level kuat medan listrik : 1 = 10~30 <i>dBμV/m</i> 4 = 51~60 <i>dBμV/m</i> 2 = 31~40 <i>dBμV/m</i> 5 ≥ 60 <i>dBμV/m</i> 3 = 41~50 <i>dBμV/m</i>				Pengaruh : 1 = tidak berpengaruh 2 = kecil 3 = sedang 4 = besar 5 = sangat besar				Kondisi jet : 1 = normal 2 = tersendat <i>intermittent</i> 3 = tersendat sering 4 = mati			
*) pilih salah satu; posisi alat ukur <i>Z-axis</i> (mendatar ke depan).											
**) hasil wawancara dengan pilot Batavia Air											





Gbr. 4-4 Grafik level field strenght

Keadaan tidak terpengaruh tersebut di atas membuktikan bahwa pada rancangan sistem pesawat udara komersial telah menggunakan semua teknologi yang berkaitan dengan EMC dan EMI, apalagi untuk pesawat udara komersial yang telah menerapkan sistem *fly by wire* seperti pesawat Boeing B737-800 New Generation dan sekelasnya. Semua jalur data pada dasarnya telah terlindungi oleh sistem *shield* yang memadai.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari dua alur penelitian yang digambarkan pada Bagian Metodologi Penelitian nampak, bahwa hanya alur penelitian keteknikan dengan bentuk satu kegiatan pengukuran yang dapat dianggap langsung berkaitan dengan tinjauan pengaruh telepon seluler terhadap kinerja peralatan navigasi penerbangan. Sementara alur kedua yang tidak diuraikan pada paper ini, berbentuk jajak pendapat publik ternyata juga akan berpengaruh terhadap proses terjadinya atau tidak terjadinya interferensi terhadap peralatan navigasi tersebut. Sehingga perpaduan hasil penelitian dua alur itu akan menjawab secara kongkrit hipotesa yang dirumuskan di depan. Apabila hanya sisi teknik saja yang ditinjau, maka di lapangan (dalam penerbangan) nanti, ketika publik telah patuh kepada semua larangan bersangkutan, maka fenomena interferensi tersebut tidak akan muncul yang berarti juga bahwa tidak terdapat permasalahan pada kasus yang diangkat dalam Paper ini. Dengan kata lain, bahwa alur penelitian yang berbentuk jajak pendapat akan bersifat mendukung penelitian alur keteknikan.

5.1. Kesimpulan

Tidak adanya pengaruh interferensi peralatan elektronik termasuk telepon seluler terhadap peralatan navigasi penerbangan (fenomena EMC) dapat dipastikan penyebabnya, adalah karena :

1. Peralatan elektronik (sebagai *source*) telah didesain mempunyai emisi gelombang elektromagnetik yang memenuhi standar dunia (FCC maupun CISPR), sehingga bila berada dalam satu lingkungan, tidak sampai mengganggu peralatan lain di sekitarnya dalam jarak radiasi (*far field*).
2. Setiap peralatan modern (sebagai *victim*) termasuk peralatan navigasi penerbangan dan seluruh jaringannya (sistem *fly by wire*) telah dirancang mampu menahan terpaan gelombang elektromagnetik dari sistem di luarnya karena desain sistem *shielding*-nya yang memadai. Dalam hal struktur pesawat bahwa, pusat sistem komputer pada pesawat jenis B737-800 berada di ruang bagasi (*cargo*) tepat di sekitar *seat* nomor-2.

5.2. Saran

Yang Pertama, masih terkait dengan penelitian di bidang EMC, diharapkan kepada pihak-pihak yang berkompeten, untuk juga mempunyai fasilitas ruang pengujian radiasi gelombang elektromagnetik (*semi-anechoic chamber*) dengan kualitas profesional agar kegiatan penelitian selanjutnya mempunyai alternatif tempat uji. Kemungkinan pihak-pihak tersebut adalah, LIPI, PTN maupun PTS seperti Universitas Mercu Buana sendiri.

Kedua, selanjutnya perlu dilakukan lagi satu kajian yang lebih intensif oleh UMB bersama pihak GMF AeroAsia tentang masalah interferensi ini, sehingga dapat dihasilkan data yang lebih akurat yang dapat dipresentasikan secara nasional, regional maupun Internasional karena merupakan hasil penelitian yang dilakukan oleh satu Tim.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alaydrus, Mudrik (2011); *Antena, Prinsip & Aplikasi*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [2] Kennedy, G (2000); *Electronic Communication Systems*, McGraw-Hill, Singapore.
- [3] Lee, William C.Y. (1982); *Mobile Cellular Telecommunication System*, McGraw Hill, Singapore.
- [4] Nishino, O., Sapiie, S. (1979); *Pengukuran dan Alat-Alat Ukur Listrik*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- [5] Johnson, Walter C. (1986); *Transmission Lines and Networks*, McGraw Hill, Singapore.
- [6] Paul, C. (1992); *Introduction to Electromagnetic Compatibility*, John Wiley & Sons, USA.
- [7] Rangkuti, Freddy (2006); *Analisis SWOT Teknik Membedah Kasus Bisnis*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.

- [8] Roddy, D, Coolen, J (1980); *Electronic Communications*, Prentice-Hall, New Delhi.
- [9] Sekretariat Negara (2009); *Undang-Undang Republik Indonesia No. 1/2009 Tentang Penerbangan*, Jakarta.
- [10] Tipler, Paul A. et al (2008); *Physics for Scientists and Engineers*, Sixth Ed, Freeman and Co, England.
- [11] Wentworth, Stuart M. (2007); *Applied Electromagnetics*, John Wiley & Sons, Inc., USA
- [12] Wiyanto (2008); *Elektromagnetika*, Graha Ilmu, Yoyakarta.
- [13] Wong, K. Daniel (2005); *Wireless Internet – Telecommunications*, Artech House, Norwood, MA.
- [14] Hewlett hp Packard (1976); *Spectrum Analysis Field Strength Measurement*, USA
- [15] Ladkin, Peter B., et al (1999); *Electromagnetic Interference with Aircraft System: why worry?*, University of Bielefeld.
- [16] Langguth, Wolfgang (2006); *Earthing & EMC Fundamentals of Electromagnetic Compatibility (EMC)*, Hochschule für Technik und Wirtschaft, European Copper Institute.
- [17] OSHA Cincinnati Laboratory (1990); *Electromagnetic Radiation and How It Affects Your Instruments*, Ohio-USA
- [18] Pakan, Welly (2008); *Faktor Penyebab Kecelakaan Penerbangan di Indonesia Tahun 2000-2006*, Warta Ardhia, Vol.34 No.1, Juni 2008.
- [19] Williams, Tim (2000); *Measurement techniques and test methods: developments, costs and options*, the ERA conference.
- [20] http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_compatibility, diakses 24/4/2011
- [21] <http://www.smeter.net/spectrum/aviation.php>, diakses 25/2/2012
- [22] http://hubud.dephub.go.id/?id+regulasi_km+detail, diakses 5/5/2012
- [23] <http://www.jakarta.go.id/web/produkhukum/search>, diakses 5/5/2012
- [24] <http://www.gloopic.net/artikel-penerbangan/prasarana/fasilitas-navigasi-penerbangan-ndb-vor-dme.html>, diakses 5/5/2012.
- [25] <http://www.indoflyer.net/wiki/index.php?title=ILS>, diakses 5/5/2012
- [26] [http://www.ilmuterbang.com/fasilitas_navigasi_penerbangan_\(NDB,_VOR,_DME\)_-gloopic_net_gloopic_net_gloopic_net.mht](http://www.ilmuterbang.com/fasilitas_navigasi_penerbangan_(NDB,_VOR,_DME)_-gloopic_net_gloopic_net_gloopic_net.mht), diakses 5/5/2012.
- [27] http://www.compeng.com.au/emc_conversion_tables_field_strength_calcu-, informasi untuk konversi satuan EMC, diakses 8/5/2012.
- [28] http://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_shielding, diakses 17/6/2012.
- [29] <http://www.nts.com/resourcecenter/articles/>, diakses 17/8/2012.

