



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Profesor Adit Kurniawan

**RISET BIDANG ANTENA DAN PROPAGASI
GELOMBANG DALAM MENDUKUNG SISTEM
KOMUNIKASI NIRKABEL**

29 Mei 2015
Balai Pertemuan Ilmiah ITB

**Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung**
29 Mei 2015

Profesor Adit Kurniawan

**RISET BIDANG ANTENA DAN PROPAGASI
GELOMBANG DALAM MENDUKUNG SISTEM
KOMUNIKASI NIRKABEL**



Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Hak cipta ada pada penulis

Judul: RISET BIDANG ANTENA DAN PROPAGASI GELOMBANG DALAM
MENDUKUNG SISTEM KOMUNIKASI NIRKABEL
Disampaikan pada sidang terbuka Forum Guru Besar ITB,
tanggal 29 Mei 2015.

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

UNDANG-UNDANG NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama **7 (tujuh) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)**.
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama **5 (lima) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)**.

Hak Cipta ada pada penulis
Data katalog dalam terbitan

Adit Kurniawan
RISET BIDANG ANTENA DAN PROPAGASI GELOMBANG DALAM
MENDUKUNG SISTEM KOMUNIKASI NIRKABEL
Disunting oleh Adit Kurniawan

Bandung: Forum Guru Besar ITB, 2015

vi+54 h., 17,5 x 25 cm

ISBN 978-602-8468-79-4

1. Antena dan Propagasi Gelombang 1. Adit Kurniawan

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, karena berkat kehendak dan rahmat-Nya-lah penulis dapat menyelesaikan naskah orasi ilmiah ini. Penulis mengucapkan terimakasih kepada pimpinan dan anggota Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung atas kesempatan yang diberikan untuk menyampaikan orasi ilmiah pada Sidang Terbuka Forum Guru Besar yang terhormat ini.

Orasi ilmiah ini disampaikan sebagai tanggung jawab dan komitmen penulis pada keilmuan yang ditekuni, dikembangkan, dan berkontribusi untuk kemajuan ilmu pengetahuan itu sendiri dan untuk memberikan manfaat bagi kesejahteraan masyarakat. Keilmuan yang ditekuni oleh penulis mencakup bidang keilmuan Antena dan Propagasi Gelombang. Ada pun judul orasi ilmiah yang disampaikan pada kesempatan ini adalah **“Riset Bidang Antena dan Propagasi Gelombang dalam Mendukung Sistem Komunikasi Nirkabel.”**

Semoga tulisan ini dapat menjadi inspirasi, menambah wawasan, serta dapat menstimulasi semangat kepada para pembaca untuk terus belajar sepanjang hayat dikandung badan.

Bandung, 29 Mei 2015

Adit Kurniawan

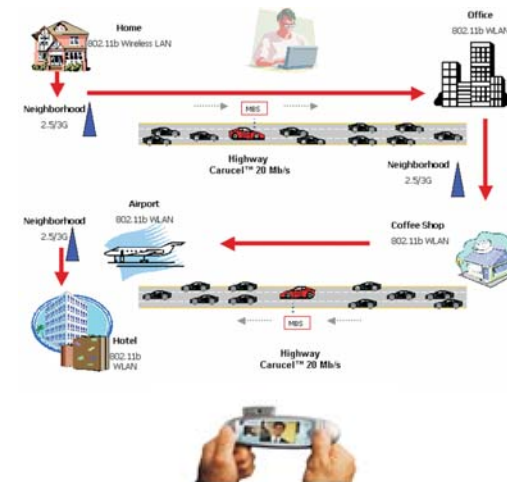
DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
1. PENDAHULUAN	1
2. SISTEM KOMUNIKASI NIRKABEL	3
3. RISET BIDANG ANTENA	4
3.1 Konsep, Karakteristik, dan Parameter Antena	5
3.2 Antena untuk Komunikasi Nirkabel	9
3.3 Antena untuk Radar Bawah Tanah (GPR)	15
4. RISET BIDANG PROPAGASI GELOMBANG	17
4.1 Karakteristik Propagasi Gelombang	18
4.2 Propagasi Gelombang pada Komunikasi Nirkabel	21
5. RENCANA KEGIATAN MENDATANG	34
5.1 Rencana Riset Bidang Antena	34
5.2 Rencana Riset Bidang Propagasi Gelombang	36
6. PENUTUP	37
7. UCAPAN TERIMA KASIH	38
DAFTAR PUSTAKA	40
CURRICULUM VITAE	45

RISET BIDANG ANTENA DAN PROPAGASI GELOMBANG DALAM MENDUKUNG PERKEMBANGAN SISTEM KOMUNIKASI NIRKABEL

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan dan permintaan layanan komunikasi nirkabel dengan kapasitas yang lebih tinggi dan kualitas layanan yang lebih baik dalam sistem komunikasi bergerak nirkabel telah dan akan terus meningkat meningkat secara eksponensial [1]. Hal ini disebabkan karena pengguna sistem komunikasi nirkabel bisa mendapatkan mobilitas dan fleksibilitas dengan jangkauan layanan semakin luas, fitur layanan semakin bervariasi, serta ketersediaan peralatan terminal yang semakin cerdas. Gambar 1. memperlihatkan ragam komunikasi nirkabel yang ada pada saat ini.

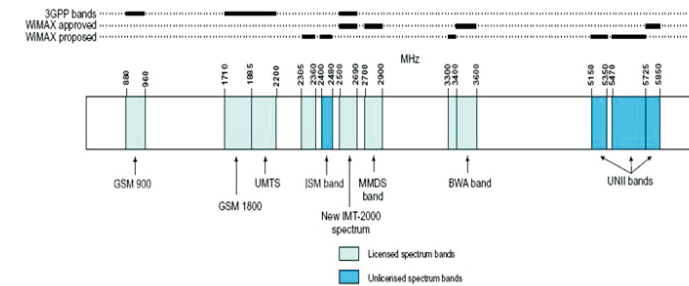


Gambar 1. Ragam Komunikasi Nirkabel [2]

Tantangan yang harus diatasi untuk pengembangan sistem komunikasi nirkabel lebih lanjut adalah keterbatasan spektrum frekuensi sebagai sumber daya/komoditas utama sistem komunikasi nirkabel, dan efek destruktif akibat terjadinya paparan *multipath* terhadap kinerja transmisi nirkabel. Oleh karena itu, riset pada bidang antenna dan propagasi gelombang mengarah pada pengembangan antenna dan teknik transmisi/ deteksi yang lebih cerdas.

Sistem komunikasi nirkabel generasi pertama (1G) pada tahun 1980an menggunakan teknologi analog dengan jangkauan dan kapasitas yang rendah, mengkonsumsi spektrum frekuensi secara boros, serta hanya melayani komunikasi suara. Kemudian generasi kedua (2G) pada tahun 1990an beralih ke teknologi digital, sedikit lebih efisien dalam penggunaan spektrum frekuensi, serta dapat memberikan layanan data dengan kecepatan/kapasitas rendah. Generasi ketiga (3G) pada tahun 2000an bisa memberikan layanan suara dan data yang lebih cepat, dengan fitur layanan yang lebih bervariasi seiring dengan perkembangan aplikasi internet/web. Namun demikian, karena jumlah pengguna dan kebutuhan kapasitas/kecepatan data juga meningkat dengan tajam, maka sistem 3G masih dirasa tidak mencukupi, sehingga pada saat ini kita berada pada era aplikasi sistem 4G yang sudah digelar oleh beberapa penyelenggara jaringan/jasa telekomunikasi, bahkan sistem 5G sudah banyak dipublikasikan dalam berbagai konferensi untuk mengantisipasi kebutuhan yang terus meningkat. Peningkatan kebutuhan kapasitas dan kualitas layanan yang direpresentasikan oleh evolusi teknologi komunikasi nirkabel 1G sampai 5G, bahkan sampai generasi berikutnya pun, nampaknya tidak

akan pernah berhenti karena teknologi harus berkembang terus untuk memberikan manfaat yang semakin baik kepada masyarakat. Keterbatasan spektrum frekuensi ditunjukkan pada Gambar 2 di bawah ini.



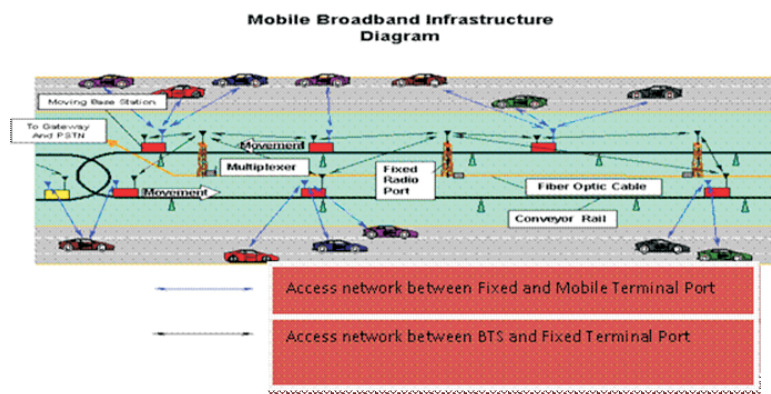
Gambar 2. Alokasi Spektrum Frekuensi Sistem Komunikasi Nirkabel [3]

Dari Gambar 2 di atas terlihat bahwa sistem atau teknologi tertentu diberi alokasi spektrum frekuensi yang terpisah-pisah karena padatnya penggunaan frekuensi yang sudah ada. Tentu saja hal ini berdampak pada peralatan yang digunakan, termasuk antenna. Sebagai contoh, alokasi spektrum frekuensi untuk pita tanpa lisensi pita *Industrial, Scientific, and Medical* (ISM) dan pita *Unlicensed national Information Infrastructure* (UNII) diberi alokasi frekuensi masing-masing pada 2.400-2.490 MHz dan 5.150-5.850 MHz. Akibatnya, diperlukan antenna yang bisa bekerja pada kedua pita tersebut, yang biasanya disebut antenna pita ganda.

2. SISTEM KOMUNIKASI NIRKABEL

Pada sistem komunikasi nirkabel modern, aspek mobilitas akan semakin menjadi kebutuhan utama karena kebutuhan pengguna layanan komunikasi tidak lagi akan terbatas oleh tempat dan waktu (*seamless*

communication). Gelombang yang ditransmisikan melalui medium udara akan mengalami proses propagasi *multipath* yang melibatkan difraksi, refleksi, dan hamburan. Karena laju data akan sangat lambat pada propagasi yang mengalami *multipath*, maka propagasi/transmisi gelombang *multipath* perlu diatasi. Sebagai contoh, pada Gambar 3 ditunjukkan infrastruktur komunikasi nirkabel pita lebar yang menggunakan kombinasi terminal diam dan bergerak untuk mengurangi terjadinya propagasi *multipath*.



Gambar 3. Infrastruktur Komunikasi Nirkabel Pita Lebar [3]

3. RISET BIDANG ANTENA

Prinsip kerja antenna menggunakan teori Maxwell yang kemudian ditunjukkan dalam eksperimen Faraday pada tahun 1830an bahwa perubahan medan magnet menimbulkan arus listrik induksi, dan sebaliknya. Eksperimen serupa dilakukan Heinrich Hertz tahun 1886 menggunakan kawat berbentuk loop untuk "menangkap" induksi elektromagnetik,

yang kemudian dilanjutkan oleh Marconi tahun 1901 yang berhasil melakukan eksperimen komunikasi jarak jauh pertama melintasi trans Atlantik. Baru pada tahun 1907 telegraf nirkabel dikomersialisasikan untuk melayani jasa telegram trans Atlantik.

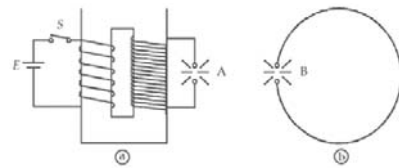
3.1 Konsep, Karakteristik, dan Parameter Antena

Secara sederhana prinsip kerja antenna serupa dengan prinsip kerja transformator, bedanya pada transformator kehilangan energi akibat induksi elektromagnetik harus sekecil mungkin (jarak dekat) untuk mendapatkan efisiensi transfer energi yang tinggi, sedangkan pada antenna karena digunakan untuk jarak jauh, kehilangan energi yang sangat besar tidak masalah asalkan informasi yang dikirimkan masih dapat diolah.

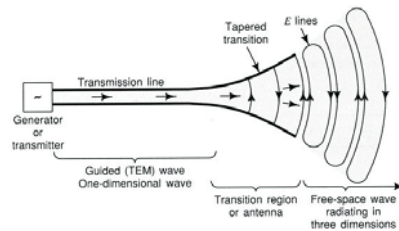
Gambar 4 (a) menunjukkan konsep induksi elektromagnetik pada eksperimen yang dilakukan Faraday, mau pun Heinrich Hertz [4]. Bila saklar S digunakan untuk mengubah arus listrik, maka akan terjadi induksi listrik. Gambar 4 (b) menunjukkan konsep radiasi dari medium saluran transmisi ke medium bebas Teori Maxwell yang digunakan untuk menjelaskan konsep radiasi gelombang elektromagnetik adalah sebagai berikut

$$-\nabla \times E = \mu \frac{\partial H}{\partial t}, \nabla \times H = \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} + j \quad (1)$$

E adalah vektor medan listrik, H adalah vektor medan magnet, μ dan ε masing-masing adalah permeabilitas dan permitivitas medium, J rapat arus disipasi pada medium, dan $\nabla \times E$ dan $\nabla \times H$ masing-masing adalah operator keriting (*curl*) pada vektor E dan vektor H yakni turunan berarah dari vektor E dan vektor H terhadap waktu.



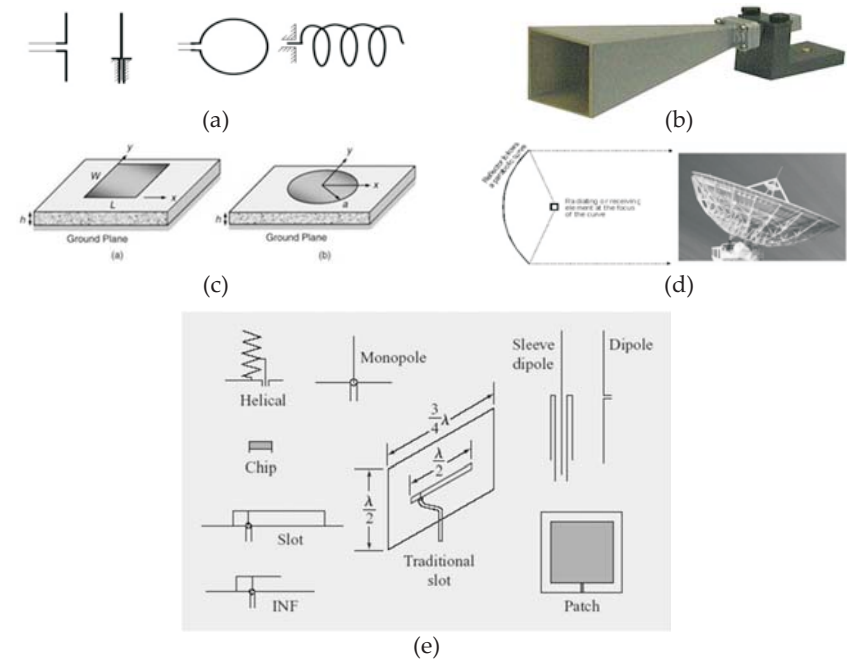
(a) Induksi Elektromagnetik



(b) Konsep Radiasi Antena

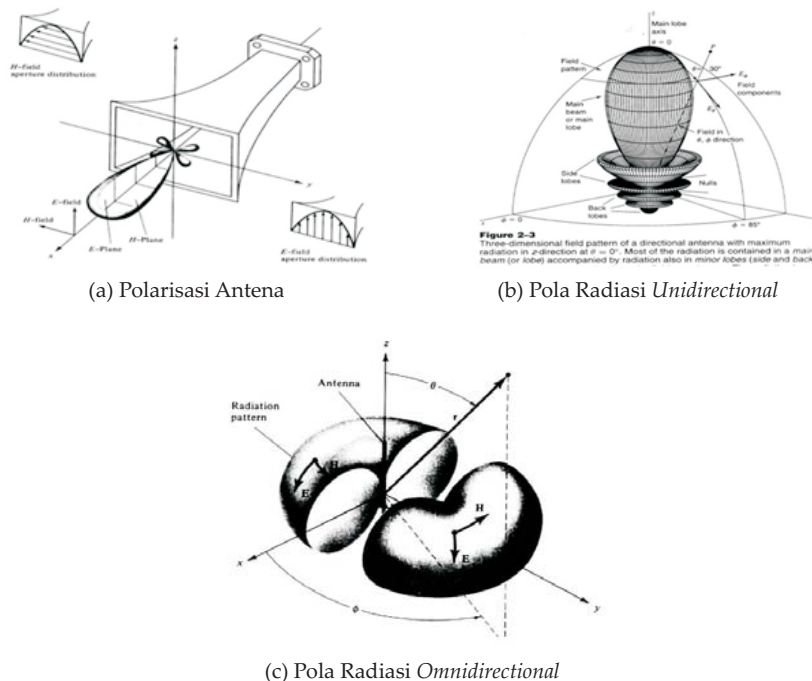
Gambar 4. Konsep Induksi Elektromagnetik dan Radiasi

Karakteristik antena ditentukan oleh bentuk fisik dari antena tersebut yang berkaitan erat dengan frekuensi kerjanya. Bentuk fisik antena bisa linear berupa kawat (*wire*) atau bentuk bidang (*aperture*), antena tercetak (*printed*), bahkan bisa berbentuk bidang pantul atau lensa. Oleh karena itu, perkembangan berikutnya, tahun 1920 ditemukan antena Yagi-Uda, kemudian antena corong (*horn*) dibuat pada tahun 1939. Pada tahun 1940 antena tersusun (*array*) dibuat untuk meningkatkan gain, dan sekitar tahun 1950 dibuat antena menggunakan pemantul (reflektor), dan pada tahun 1970an kemudian ditemukan antena tercetak (*patch*). Gambar 5 menunjukkan berbagai bentuk fisik antena: (a) Antena linear dipol, monopol, loop, dan helix; (b) Antena corong (*horn*); (c) Antena tercetak (*printed*); (d) Antena reflektor (parabola); dan (e) Berbagai antena yang biasa digunakan pada komputer laptop.



Gambar 5. Berbagai Jenis Antena [6]

Parameter antena yang perlu diperhatikan untuk memenuhi berbagai aplikasi pada sistem komunikasi nirkabel mencakup: frekuensi kerja (frekuensi resonan), lebar pita (*bandwidth*), penguatan (*gain*), lebar berkas (*beam width*), pola radiasi, dan polarisasi. Frekuensi kerja, lebar pita, dan polarisasi antena akan menentukan penggunaan antena pada aplikasi komunikasi nirkabel sesuai dengan alokasi spektrum frekuensi yang digunakan. Sedangkan *gain*, pola radiasi, dan lebar berkas antena akan merepresentasikan parameter antena untuk menentukan jangkauan komunikasi dan/atau wilayah cakupan dari sistem nirkabel yang digunakan. Gambar 6 menjelaskan polarisasi dan pola radiasi antena.



Gambar 6. Polarisasi dan Pola Radiasi Antena [6]

Polarisasi antenna harus sesuai dengan polarisasi gelombang elektromagnetik yang diradiasikan atau ditangkap oleh antenna tersebut. Untuk antenna linear, bentuk dan orientasi antenna akan segaris dengan polarisasi gelombang. Pola radiasi antenna bisa dirancang agar sesuai dengan tujuan penggunaannya. Untuk komunikasi titik-ke-titik biasanya pola radiasi antenna berbentuk *unidirectional*, seperti pada Gambar 6. (b), sedangkan untuk komunikasi yang memerlukan cakupan terhadap suatu wilayah tertentu, pola radiasi antenna bisa berbentuk *omnidirectional* seperti tampak pada Gambar 6 (c).

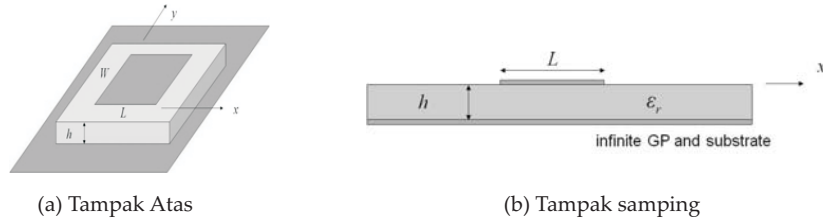
3.2 Antena untuk Komunikasi Nirkabel

Perkembangan sistem komunikasi nirkabel komersial diawali sejak pertengahan tahun 1980an, dengan sistem telepon selular analog *Advance Mobile Phone system* (AMPS) dan *Nordic Mobile telecommunication* (NMT), kemudian dilanjutkan dengan sistem digital *Global System for Mobile System* (GSM) tahun 1990an. Tahun 2000an perkembangan berlanjut menggunakan sistem *Code Division Multiple Access* (CDMA), *Wireless for Fidelity* (Wifi), *World Interoperability for Microwave Access* (Wimax), *Universal Mobile Telecommunications System* (UMTS), dan *Long Term Evolution* (LTE). Akibat dari perkembangan tersebut, antenna yang diperlukan semakin bervariasi. Namun bentuk fisik antenna yang diperlukan harus semakin kompak, berukuran kecil, dan cerdas. Ada pun riset-riset yang dilakukan di kelompok Keilmuan Teknik telekomunikasi ITB sehubungan dengan kebutuhan tersebut mencakup perancangan dan fabrikasi antenna pita ganda dan pita jamak, miniaturisasi antenna, dan antenna untuk aplikasi Radar Bawah Tanah (*Ground Penetrating Radar*, GPR).

Antena Pita Ganda dan Pita Jamak

Antena pita ganda dibuat untuk menghasilkan antenna yang memiliki karakteristik frekuensi kerja pada 2 pita frekuensi yang berbeda. Dari aspek material, kecenderungan saat ini dan ke depan bahan microstrip lebih menarik karena dapat menghasilkan kinerja yang lebih kompak secara fisik, mudah difabrikasi, dan dapat memberikan kinerja yang memenuhi kebutuhan spesifikasi yang diinginkan untuk berbagai aplikasi komunikasi nirkabel, dll [7]. Konsep dasar pada perancangan/fabrikasi antenna tercetak (*printed antenna*) dengan bahan mikrostrip

ditentukan oleh parameter bahan terutama permitivitas relatif material dielektrik, ϵ_r dan dimensi bahan (panjang, L , lebar, W , dan ketebalan material dielektrik, h) seperti terlihat pada Gambar 7 [8].



Gambar 7. Antena Tecetak (*Printed*) Mikrostrip [8]

Secara sederhana, untuk menghasilkan frekuensi resonan yang diinginkan, dimensi panjang L dari patch mikrostrip dapat menggunakan nilai sebagai berikut [9]

$$L = \lambda_d / 2 = \frac{\lambda_0 / 2}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (2)$$

dengan λ_d adalah panjang gelombang di dalam bahan dielektrik dan λ_0 adalah panjang gelombang dalam medium bebas yang diinginkan. Dimensi lebar dari patch, W , akan menentukan lebar pita dari antena mikrostrip yang dikehendaki. Tentu saja dalam disain praktis, banyak parameter dimensi yang perlu diatur lebih teliti, misalnya dalam mengatur frekuensi resonan biasanya dimensi panjang patch bisa dilebarkan dengan faktor ΔL pada kedua ujung patch mengikuti [9]

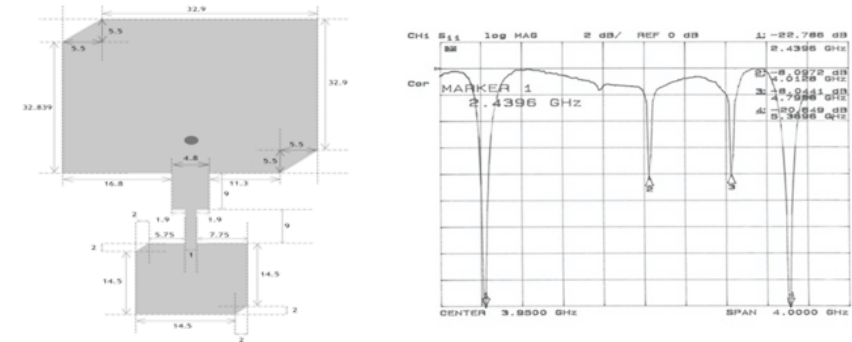
$$\Delta L / h = 0.412 \left[\frac{(\epsilon_r^{eff} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_r^{eff} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.8 \right)} \right] \quad (3)$$

dengan h ketebalan bahan dielektrik, W lebar patch, dan ϵ_r^{eff} adalah permitivitas efektif relatif dari bahan yang dapat dituliskan sebagai [9]

$$\epsilon_r^{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \left(\frac{\epsilon_r - 1}{2} \right) \left[1 + 12 \left(\frac{h}{W} \right) \right]^{-1/2} \quad (4)$$

Dalam praktek, biasanya pengaturan dimensi yang diperlukan untuk meningkatkan akurasi sudah disediakan oleh perangkat lunak disain.

Salah satu kebutuhan antena pita ganda adalah untuk aplikasi komunikasi nirkabel tanpa lisensi pita ISM pada 2.4 GHz dan pita UNII pada 5.4 GHz, seperti terlihat pada Gambar 8. (a) Antena pita ganda (*dual band*) dengan teknik patch ganda (*dual patch*); (b) Karakteristik Return Loss/Lebar Pita.



(a) Antena patch ganda

(b) Return Loss/Lebar Pita

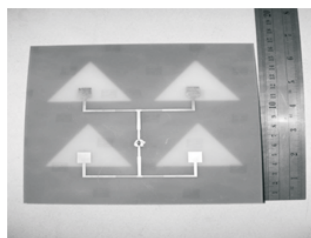
Gambar 8. Dual band dual patch antenna (2.4/5.4 GHz) [10]

Gambar 8 menunjukkan disain antena pita ganda dengan teknik patch ganda, dimana patch besar sebagai pembangkit pita 2.4 GHz dan patch kecil sebagai pembangkit pita 5.4 GHz. Dapat dilihat bahwa penggunaan

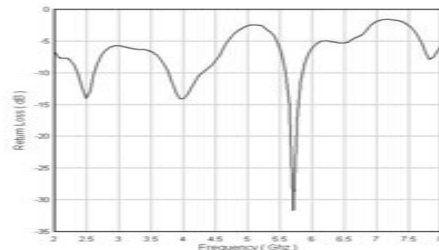
patch ganda menghasilkan pita yang tidak dikehendaki pada frekuensi sekitar 4.0 dan 4.7 GHz. Munculnya frekuensi resonan yang tidak dikehendaki dapat disebabkan akibat terjadinya interaksi antara radiasi yang dihasilkan oleh *patch* besar dan radiasi yang dihasilkan oleh *patch* kecil. Disain antenna tercetak pita ganda yang ditunjukkan pada Gambar 8 di atas merupakan teknik yang sederhana untuk membuktikan bahwa dimensi antenna akan menentukan frekuensi resonan yang dihasilkan. Gain yang dihasilkan berkisar antara 2.5 sampai 3 dBi, sedangkan lebar pita yang dihasilkan pada nilai *return loss* 10 dB (VSWR sekitar 2) juga masih sempit, berkisar antara 30-60 MHz dari hasil pembesaran Gambar 8 (b).

Susunan Antena Pita Ganda

Disain antenna tercetak berikutnya dilakukan untuk menghasilkan *gain* antenna yang lebih tinggi, serta dapat bekerja pada pita ganda. Teknik yang digunakan untuk meningkatkan *gain* adalah dengan membuat susunan antenna (*antenna array*), sedangkan untuk membuat pita ganda dilakukan dengan disain antenna berbentuk *patch* persegi yang dikombinasikan dengan bentuk slot segitiga seperti tampak pada Gambar



(a) Susunan Antena 4-Element



(b) Karakteristik *Return Loss*

Gambar 9. Antena susunan 4 elemen pita ganda [11]

9 (a). Disain antenna pita ganda menggunakan pendekatan *patch* ganda tidak efektif digunakan susunan antenna karena dimensi susunan akan menjadi terlalu besar (tidak kompak).

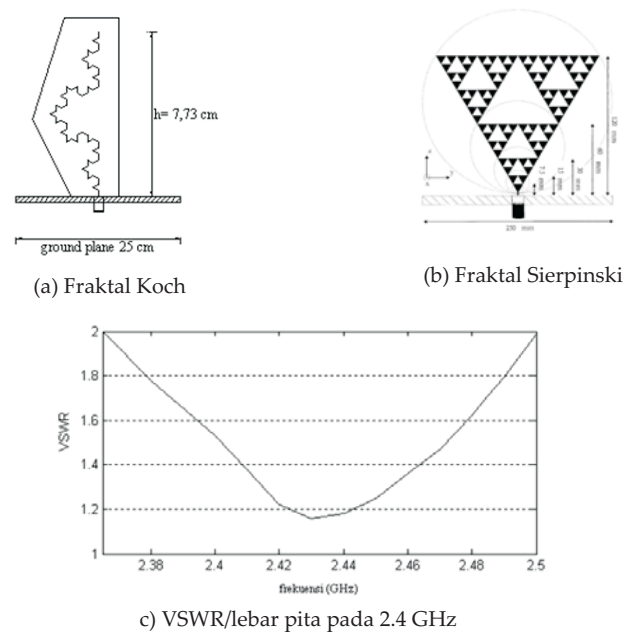
Susunan antenna dengan 4 buah elemen dapat meningkatkan *gain* menjadi sekitar 8 sampai 9 dBi. Hal ini dapat dijelaskan bahwa kenaikan maksimum dari *gain* sebagai akibat faktor susunan dari 4 elemen adalah sebesar $10 \cdot \log 4 = 6$ dB. Sedangkan pendekatan yang digunakan untuk menghasilkan pita ganda dilakukan dengan membuat disain slot bentuk segitiga untuk menghasilkan pita frekuensi pada 2.4 GHz dan disain *patch* persegi di dalam *slot* untuk menghasilkan pita frekuensi 5.4 GHz, seperti nampak pada Gambar 9 (a). Dari Gambar 9 (b) masih nampak adanya frekuensi resonan yang tidak dikehendaki pada sekitar 4 GHz sebagai akibat interaksi antara *patch* persegi dengan *slot* segitiga.

Untuk membuat antenna pita jamak, tentu saja akan memerlukan disain yang lebih rumit. Namun pada prinsipnya, memungkinkan untuk dilakukan dengan merancang bentuk *patch* dan/atau *slot* yang berbeda-beda dengan dimensi tertentu untuk menghasilkan frekuensi resonan yang dikehendaki. Penelitian yang telah dilakukan baru sampai disain antenna pita-tiga (*triple band*), sedangkan untuk memenuhi kebutuhan pita jamak yang lebih dari tiga, akan lebih mudah kalau digunakan pendekatan disain pita lebar (*wide band*) ketimbang pendekatan pita jamak (*multi band*).

Miniaturisas Antena

Miniaturisasi antenna dibuat untuk menghasilkan antenna yang

berukuran lebih kecil, namun tetap memberikan karakteristik yang dapat memenuhi kebutuhan parameter yang diperlukan. Keuntungan yang signifikan dari teknik miniaturisasi antenna adalah pada disain susunan antenna dengan jumlah elemen yang banyak, agar menghasilkan dimensi susunan yang lebih kompak. Gambar 10 menunjukkan perancangan dan fabrikasi antenna fraktal pita ganda 2.4/5.8 GHz: (a) Menggunakan metoda Koch; (b) Menggunakan metoda Sierpinski; (c) Karakteristik VSWR/lebar pita pada 2.4 GHz [12]. Baik metoda Koch mau pun metoda Sierpinski yang masing-masing ditunjukkan pada Gambar 10 (a) dan (b) nampak dapat menghasilkan dimensi yang lebih kecil dibandingkan kedua teknik sebelumnya yang dijelaskan di atas.

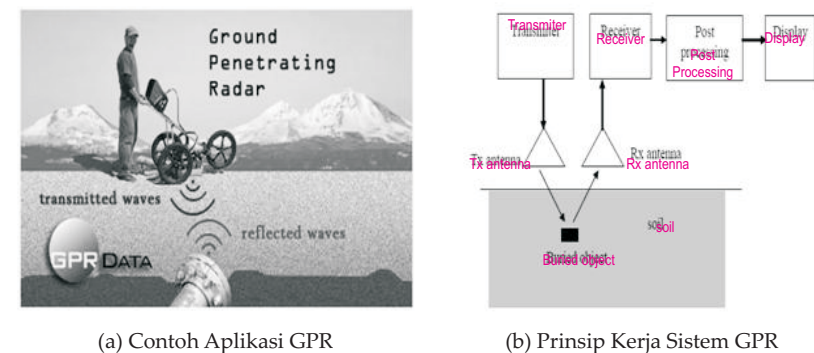


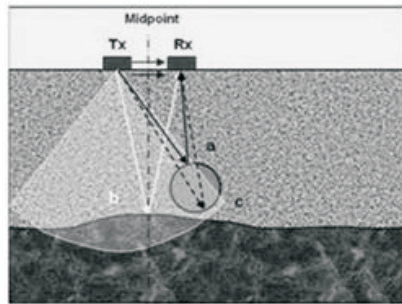
Gambar 10 Miniaturisasi Antena dengan Metoda Fractal [12]

Dari gambar 10 (c) juga dapat dilihat bahwa lebar pita yang dihasilkan untuk nilai $VSWR < 2$ adalah sekitar 140 MHz pada pita 2.4 GHz.

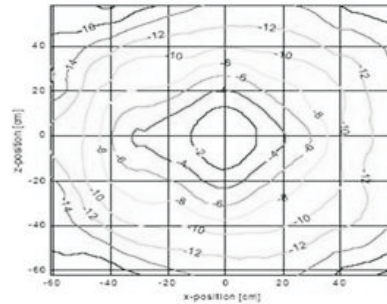
3.3 Antena untuk Radar Bawah Tanah (GPR)

Radar bawah tanah (*Ground Penetrating Radar, GPR*) merupakan salah satu bidang komunikasi dan penginderaan yang berkembang cukup pesat juga beberapa tahun ini. Hal ini didorong oleh kebutuhan dalam mendeteksi objek-objek yang terkubur di bawah tanah atau dibalik tembok, seperti kabel listrik/telepon, saluran pipa air, bahkan digunakan juga untuk mendeteksi benda-benda arkeologi sejarah seperti candi, ruang bawah tanah (*bunker*), serta ranjau darat yang tertinggal sebagai peninggalan sejarah dan jaman perang/penjajahan [14]. Gambar 11 (a) memperlihatkan contoh aplikasi radar bawah tanah untuk mengobservasi objek yang terkubur pada kedalaman beberapa meter di bawah permukaan tanah, (b) menjelaskan prinsip kerja sistem GPR; sedangkan Gambar 11 (c) dan (d) masing-masing menjelaskan peran penting dari antenna dalam aplikasi GPR sebagai alat yang untuk menghasilkan kontur cakupan (*foot print*).





(c) Cakupan Radiasi Antena



(d) Kontur Cakupan Antena

Gambar 11. Penggunaan Antena pada Aplikasi GPR [15]

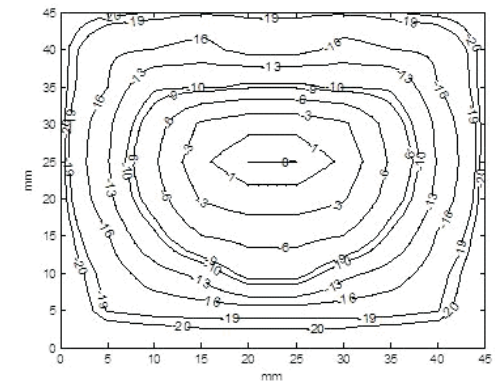
Riset yang telah dilakukan untuk mendukung pengembangan sistem radar bawah tanah meliputi disain antena untuk menghasilkan pita frekuensi yang lebar, agar bisa memberikan akurasi yang baik (resolusi tinggi) untuk mendeteksi berbagai dimensi objek, serta bisa memberikan kontur cakupan antena yang cukup untuk memperoleh pantulan sinyal dari objek yang dikehendaki, sekaligus menghindari pengaruh kerancuan dari pantulan sinyal akibat objek yang tidak dikehendaki (*clutter*). Kebutuhan tersebut diimplementasikan dengan mendisain antena monopole tercetak dengan 9-elemen seperti nampak pada gambar 12 (a).

Agar menghasilkan resolusi yang tinggi ketika digunakan untuk mendeteksi objek dengan dimensi tertentu, elemen antena dapat dipilih dari 9 elemen yang didisain. Demikian juga kontur cakupan yang ditunjukkan pada Gambar 12 (b) akan bervariasi sesuai dengan elemen antena yang dipilih. Antena ini dapat dikembangkan lebih lanjut agar bisa bekerja secara adaptif, dengan mengembangkan pemrosesan sinyal pantulan secara otomatis, sehingga pemilihan elemen antena yang harus

digunakan bisa menyesuaikan dengan kondisi objek maupun *clutter* yang sedang diobservasi.



(a) Antena GPR 9-Elemen



(b) Kontur Cakupan Radiasi

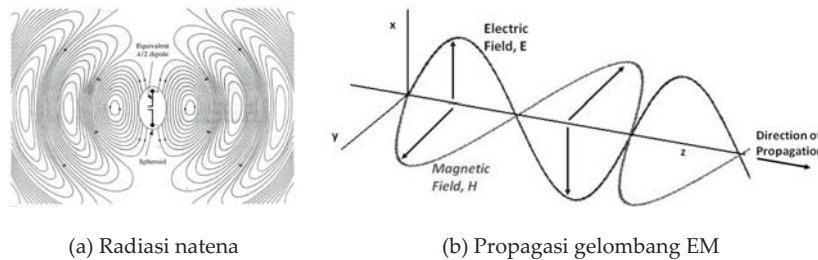
Gambar 12. Antena GPR Pita Lebar dengan Variasi Kontur [16]

4. RISET BIDANG PROPAGASI GELOMBANG

Setelah dijelaskan bahwa antena merupakan perangkat yang mengubah gelombang elektromagnetik dari medium transmisi fisik ke medium bebas dan sebaliknya, selanjutnya akan dijelaskan konsep dan karakteristik propagasi gelombang elektromagnetik yang merambat di medium bebas.

Seperti halnya dalam menjelaskan konsep radiasi pada antena, konsep yang digunakan sebagai landasan teori pada propagasi gelombang elektromagnetik juga menggunakan teori Maxwell. Gelombang elektromagnetik terdiri dari kombinasi vektor medan listrik dan vektor medan magnet yang saling tegak lurus mengikuti kaidah perkalian silang dari keduanya untuk menghasilkan arah perambatan gelombang ke arah

vektor *Poynting*. Gambar 13 (a) menunjukkan radiasi antenna dan (b) mengilustrasikan perambatan gelombang elektromagnetik sebagai gelombang datar hasil perkalian silang vektor medan listrik E_x dan medan magnet H_y yang menghasilkan gelombang elektromagnetik yang merambat ke arah sumbu-z [6].



Gambar 13. Ilustrasi Radiasi dan Propagasi Gelombang

4.1 Karakteristik Propagasi Gelombang

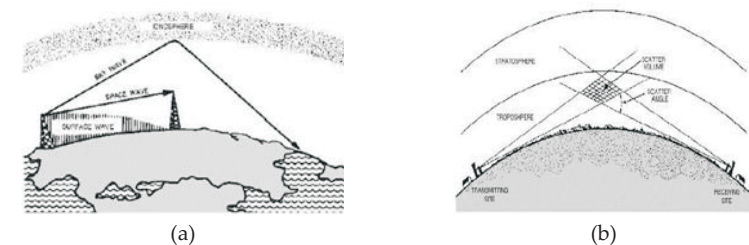
Propagasi gelombang elektromagnetik pada medium ruang bebas (udara) menunjukkan karakteristik yang berbeda-beda, yang ditentukan oleh frekuensi gelombang elektromagnetik yang digunakan. Pada frekuensi rendah sampai beberapa puluh MHz, karakteristik propagasi gelombang didominasi oleh propagasi gelombang permukaan bumi, gelombang hamburan troposfer, dan gelombang pantulan ionosfer. Sedangkan pada frekuensi yang lebih tinggi, karakteristik propagasi akan didominasi oleh propagasi gelombang langsung.

Untuk membekali pemahaman pada propagasi gelombang, Tabel I menjelaskan aplikasi atau layanan komunikasi (*services*) sesuai dengan frekuensi kerja (atau panjang gelombang) yang lazim digunakan [6].

Tabel I. Penggunaan Pita Frekuensi untuk Berbagai Aplikasi [6]

Frequency band	EM wavelength	Designation	Services
3-30 kHz	100-10 km	Very Low Frequency (VLF)	Navigation, sonar submarine
30-300 kHz	10-1 km	Low Frequency (LF)	Radio beacons, navigation
300-3000 kHz	1000-100 m	Medium Frequency (MF)	AM broadcast, maritime coast-guard radio
3-30 MHz	100-10 m	High Frequency (HF)	Telephone, telegraph, fax: amateur radio, ship-to-coast and ship-to-aircraft communication
30-300 MHz	10-1 m	Very High Frequency (VHF)	TV, FM broadcast, air traffic control, police, taxicab mobile radio
300-3000 MHz	100-10 cm	Ultrahigh Frequency (UHF)	TV, satellite, radiosonde, radar, cellular (GSM, PCS)
3-30 GHz	10-1 cm	Super high Frequency (SHF)	Airborne radar, microwave links, satellite, land mobile communication
30-300 GHz	10-1 mm	Extremely High Frequency (EHF)	Radar, experimental

Karakteristik propagasi gelombang elektromagnetik pada berbagai pita frekuensi tersebut dapat diklasifikasikan menjadi 4 jenis propagasi sebagai berikut: Propagasi gelombang permukaan bumi (*surface wave*), propagasi gelombang langsung (*space wave*), propagasi gelombang dengan pantulan ionosfer (*sky wave*), dan propagasi gelombang dengan hamburan troposfer. Gambar 14 (a) menunjukkan propagasi gelombang permukaan bumi, gelombang langsung, dan gelombang dengan pantulan



Gambar 14. Karakteristik Propagasi Gelombang [17]

ionosfer; Sedangkan Gambar 14 (b) menunjukkan propagasi gelombang melalui hamburan troposfer.

Dari Tabel I dan Gambar 13 (a) dapat dicermati bahwa gelombang permukaan bumi bekerja pada frekuensi VLF atau LF untuk aplikasi navigasi kapal laut dan komunikasi kapal selam, serta aplikasi seismik termasuk penggunaan pada deteksi gempa bumi. Gelombang langsung bekerja pada frekuensi VHF, UHF, dan SHF untuk aplikasi TV, satelit, selular, radar, dll. Gelombang pantulan ionosfer bekerja pada frekuensi MF dan VHF untuk aplikasi broadcast radio AM dan FM, telepon/fax/telex jarak jauh, komunikasi penjaga pantai, navigasi pesawat udara, dan radio amatir. Gelombang hamburan ionosfer pada Gambar 14 (b) bekerja pada frekuensi MF sampai VHF dan banyak digunakan pada aplikasi radar cuaca.

Pada tahun 1970-1980an propagasi gelombang pada frekuensi HF melalui hamburan troposfer dan pantulan ionosfer banyak digunakan untuk broadcast radio siaran AM dan untuk telepon jarak jauh. Hal ini karena dengan hamburan troposfer dari ketinggian sekitar 20 km dan juga pantulan ionosfer pada ketinggian ratusan kilometer di atas permukaan bumi, arak lompatan (*skip distance*) yang dihasilkan dari hamburan maupun pantulan akan cukup jauh, dan bisa menjangkau sampai ribuan kilometer. Jarak komunikasi ini sangat menguntungkan untuk memenuhi kebutuhan komunikasi jarak jauh (misalnya komunikasi antar pulau di Indonesia).

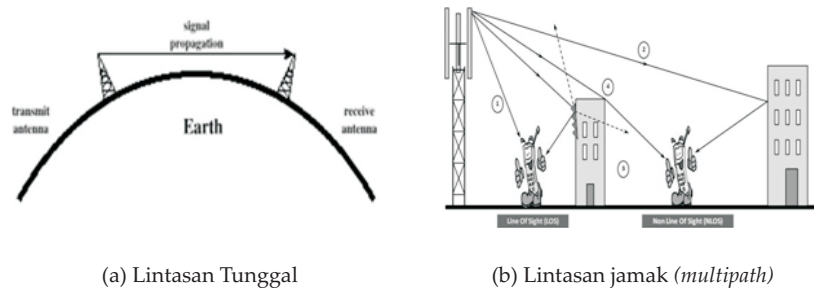
Namun demikian, komunikasi HF dengan hamburan troposfer dan

pantulan ionosfer memiliki kelemahan dalam hal ketidakstabilan komunikasi sebagai akibat dari dinamika atmosfer bumi yang selalu berubah-ubah sepanjang waktu, baik perubahan jangka pendek dari jam ke jam akibat perubahan cuaca, maupun perubahan jangka panjang akibat siklus musim dan dinamika benda-benda langit. Kelemahan lainnya adalah lebar pita yang sempit, karena bekerja pada frekuensi rendah.

Oleh karena itu, sejak komunikasi satelit dan komunikasi nirkabel selular berkembang pesat mulai tahun 1980an, sistem komunikasi dengan hamburan troposfer dan pantulan ionosfer tidak dipergunakan lagi untuk komunikasi telepon jarak jauh. Demikian juga sejak akhir tahun 1980 sampai awal tahun 1990 teknologi sistem komunikasi nirkabel 1G dan 2G mulai berkembang. Sejak saat itu, riset dalam bidang propagasi gelombang untuk sistem komunikasi nirkabel lebih mengarah pada pemanfaatan gelombang langsung, terutama dalam mengatasi terjadinya popagasi lintasan jamak (*multipath*) yang terjadi pada sistem komunikasi nirkabel selular.

4.2 Propagasi Gelombang pada Sistem Komunikasi Nirkabel

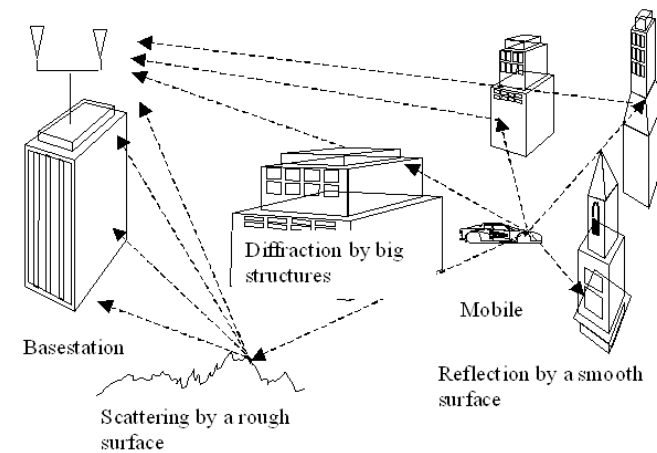
Sistem komunikasi nirkabel yang berkembang pesat sejak tahun akhir 1980an sampai sekarang menggunakan frekuensi UHF. Pada frekuensi UHF, propagasi gelombang yang terjadi berupa gelombang langsung. Gambar 15 (a) menunjukkan propagasi gelombang langsung lintasan tunggal untuk komunikasi titik-ke-titik, dan (b) lintasan jamak (*multipath*) untuk komunikasi nirkabel selular antara *base station* dengan para pengguna.



Gambar 15. Propagasi Gelombang Langsung [18]

Propagasi gelombang langsung melalui lintasan tunggal banyak digunakan untuk komunikasi antar titik, misalnya untuk menginterkoneksi *base station* atau *base station controller* pada sistem komunikasi selular, atau untuk komunikasi microwave link untuk menghubungkan dua tempat dengan jarak pisah tidak melebihi 50-60 km.

Pada sistem komunikasi multipath, gelombang yang sampai di sisi penerima akan merupakan penjumlahan dari semua lintasan dengan kuat sinyal dan fasa gelombang yang berbeda-beda sebagai akibat dari perbedaan redaman dan jarak tempuh dari masing-masing lintasan. Gambar 16 menunjukkan mekanisme propagasi multipath pada sistem komunikasi nirkabel bergerak, dimana sinyal yang diterima di base station merupakan resultan dari semua gelombang yang merambat melalui berbagai lintasan akibat pantulan, difraksi, atau pun *scattering* oleh berbagai objek di sekitar lingkungan propagasi.

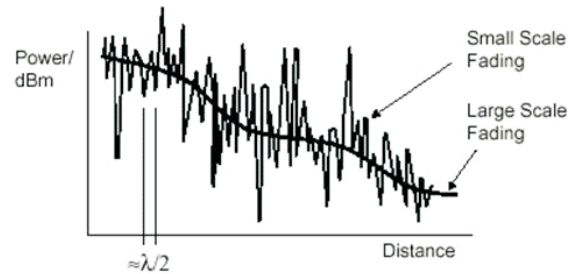


Gambar 16. Proses Propagasi *Multipath* pada Sistem komunikasi Nirkabel [19]

Pada sistem komunikasi nirkabel, penjumlahan sinyal *multipath* dapat dimodelkan dengan menggunakan model propagasi skala besar (*large scale*) dan skala kecil (*small scale*). Model sinyal skala besar merupakan rata-rata dari semua sinyal *multipath* yang dipengaruhi oleh jarak, termasuk variansinya. Sedangkan model sinyal skala kecil merupakan sinyal sesaat dari hasil penjumlahan gelombang yang diterima dari semua lintasan. Pada Gambar. 17 ditunjukkan terjadinya dua karakteristik pada propagasi multipath, yakni (a) Penyebaran waktu tunda (*delay spread*) sebagai akibat dari perbedaan waktu tempuh dari masing-masing lintasan, dan (b) Turun-naiknya kuat sinyal (*signal fluctuation*) sebagai akibat dari proses penjumlahan fasa gelombang secara stokastik dari semua lintasan.



(a) Delay Spread Sinyal



(b) Fluktuasi Kanal

Gambar 17. Karakteristik Propagasi Multipath [20]

Model matematika untuk menggambarkan sinyal *multipath* yang diterima dapat ditentukan sebagai berikut. Bila sinyal yang dikirimkan adalah $x(t)$ dan dinyatakan sebagai [19]

$$x(t) = s(t)e^{j(2\pi f_c t)} \quad (5)$$

dimana $s(t)$ adalah sinyal baseband kompleks, $f_c = c/\lambda$ adalah frekuensi pembawa, dengan kecepatan cahaya c , dan panjang gelombang frekuensi radio λ . Maka sinyal yang diterima $r(t)$ sebagai superposisi dari semua komponen *multipath* L dapat dinyatakan sebagai [19]

$$r(t) = \sum_{l=1}^L C_l s(t - \tau_l) e^{j2\pi [(f_c + f_D \cos \psi_l)t - f_c \tau_l]} \quad (6)$$

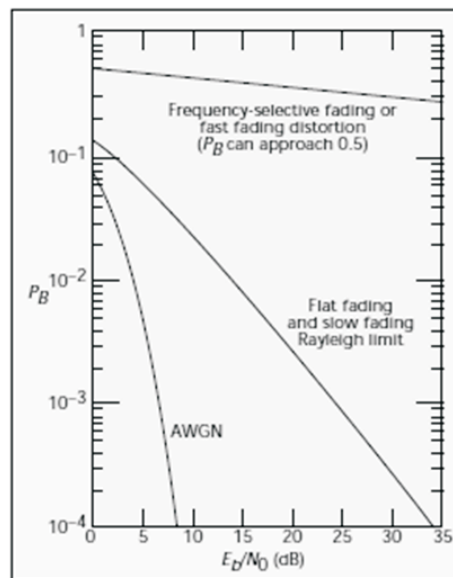
dimana C_l adalah redaman lintasan ke- l , τ_l adalah waktu tunda lintasan ke- l , $f_D = v/\lambda$ adalah penyebaran Doppler maksimum, dan ψ_l adalah sudut antara arah lintasan ke- l terhadap arah vektor kecepatan mobile, v . Dari persamaan (6), kita dapat melihat bahwa amplitudo dan fase dari $r(t)$ akan berupa variabel acak yang menunjukkan fluktuasi amplitudo dan variasi fasa. Telah diketahui secara luas, distribusi dari amplitudo sinyal *multipath* mengikuti pdf Rayleigh, sedangkan distribusi dari fasanya mengikuti pdf serbasama (*uniform*).

Kinerja Komunikasi dengan Propagasi Multipath

Kinerja komunikasi nirkabel yang mengalami propagasi *multipath* ditunjukkan pada Gambar 16 dengan kurva-kurva bit error rate (P_b) atau sering ditulis juga sebagai BER, sebagai fungsi dari rasio energi-bit terhadap densitas derau (E_b/N_0). Pada Gambar 16, kurva yang paling baik adalah komunikasi nirkabel melalui kanal *Additive White Gaussian Noise* yang ditandai dengan label AWGN, yakni komunikasi nirkabel melalui lintasan langsung tanpa adanya propagasi *multipath*. Kurva yang ditengah adalah kinerja komunikasi nirkabel melalui propagasi *multipath* tanpa terjadinya penyebaran waktu tunda. Kurva yang paling atas adalah kinerja komunikasi nirkabel melalui propagasi *multipath* yang mengandung penyebaran waktu tunda.

Dari ketiga kurva pada Gambar 16 dapat dijelaskan bahwa kinerja AWGN yang terbaik karena nilai P_b atau BER yang kecil, misalnya 10⁻³ dapat dicapai dengan nilai E_b/N_0 yang cukup kecil, yakni sekitar 6 dB. Sedangkan pada komunikasi nirkabel melalui propagasi *multipath* tanpa

adanya penyebaran waktu tunda (*Rayleigh limit*, pada Gambar 16), untuk mencapai nilai $P_B = 10^{-3}$ memerlukan E_b/N_0 sekitar 25 dB, yakni 19 dB atau hampir 80 kali lebih tinggi dari nilai yang diperlukan untuk kanal AWGN, suatu kenaikan kebutuhan daya pancar yang sangat besar. Yang luar biasa buruk adalah kurva yang paling atas untuk kinerja komunikasi nirkabel melalui propagasi multipath dengan adanya penyebaran waktu tunda (pada Gambar 16 diberi label *Frequency-selective fading*). Pada jenis kanal ini, nilai P_B hanya berkisar antara 0.3-0.5 saja untuk nilai E_b/N_0 antara 5 sampai 35 dB, serta nilai P_B tidak begitu membaik sekalipun nilai E_b/N_0 dinaikkan.



Gambar 18. Kinerja Komunikasi Nirkabel dengan Propagasi Multipath [21]

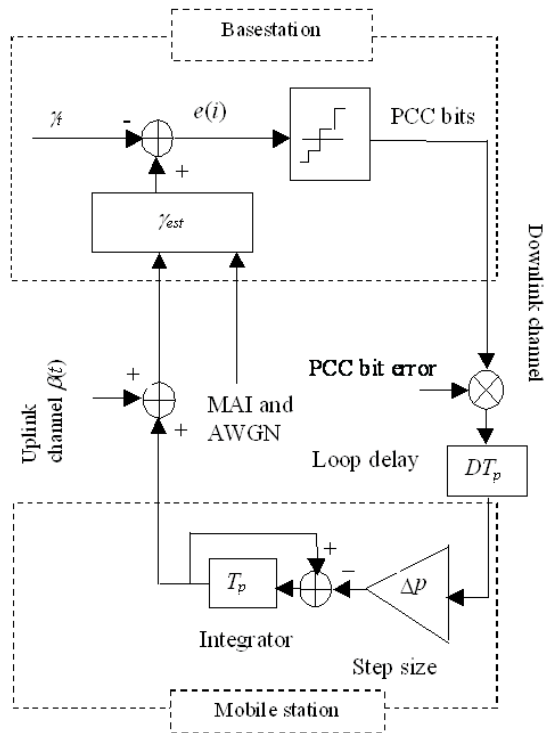
Efek destruktif akibat terjadinya sebaran waktu tunda bisa diatasi dengan teknik ekualisasi kanal dengan membuat sinyal-sinyal yang tertunda menjadi seragam waktu tundanya, lalu dijumlahkan secara koheren. Cara lainnya adalah dengan teknik banyak sinyal-pembawa (*multi carrier*) agar karakteristik kanal yang semula bersifat *frequency-selective* terhadap sinyal pembawa tunggal berpita lebar, menjadi bersifat kanal Rayleigh terhadap masing-masing sinyal pembawa yang jumlahnya banyak tapi berpita sempit. Sedangkan untuk mengatasi efek fluktuasi sinyal akibat propagasi *multipath* yang bersifat kanal Rayleigh bisa dilakukan menggunakan metoda pengendalian daya-pancar, teknik diversitas antena, dan lainnya.

Teknik Pengendalian Daya Pancar Prediktif

Pada sistem komunikasi nirkabel, masing-masing base station akan memancarkan dan menerima sinyal secara berulang untuk menghemat penggunaan spektrum frekuensi. Sistem ini disebut sebagai sistem selular, dimana daerah cakupan dibagi ke dalam beberapa sel yang masing-masing akan melayani sejumlah pengguna berada pada wilayah cakupan sel tersebut. Oleh karena itu, pada sistem komunikasi selular akan terjadi interferensi antar sel akibat dari pengulangan frekuensi yang digunakan.

Pada Gambar 19, algoritma pengendalian daya pancar pada lintasan komunikasi dari terminal mobil station ke base station (lintasan *uplink*) dapat dijelaskan sebagai berikut. Rasio sinyal terhadap derau/interferensi (SINR) yang diterima oleh base station, γ_{est} diestimasi pada durasi waktu tertentu. Kemudian γ_{est} dibandingkan dengan SINR target γ_{tr} dan

selisihnya berupa kuantitas analog $e(i)$ yang selanjutnya dikuantisasi menjadi kuantitas digital berupa bit Power Control Command (PCC). Bit PCC ini selanjutnya dikirim melalui lintasan downlink untuk menginstruksikan mobile station menaikkan atau menurunkan daya pancarnya secara berulang untuk mencapai nilai target.



Gambar 19. Teknik Pengendalian Daya Pancar [19]

Kuantisasi bit perintah dalam bentuk digital dinyatakan dengan mode- q bit dimana q adalah jumlah bit PCC. Bila $q=1$ bit disebut algoritma

langkah tetap, dan bila $q > 1$ bit disebut algoritma langkah variatif. Besarnya daya pancar pada interval berikutnya setelah tertunda waktunya selama D , dimana D merupakan akumulasi waktu tunda umpan balik, propagasi dan proses, dapat ditulis sebagai berikut [19]

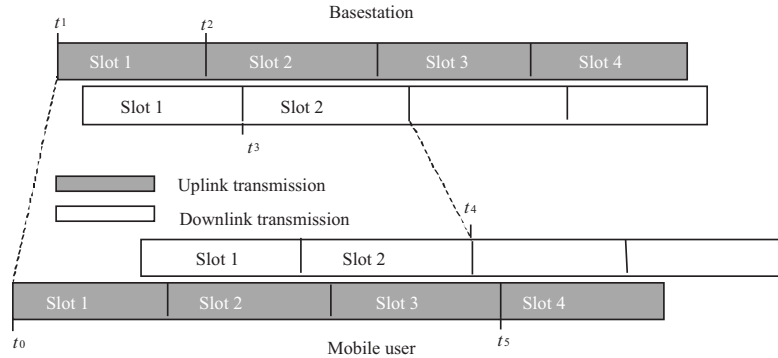
$$p(i+1) = p(i) - \Delta p \cdot e(i-D)_q. \quad (7)$$

Untuk algoritma langkah tetap, *fixed-step* ($q=1$) bit PCC dapat dinyatakan sebagai [19]

$$\text{PCC bit} = \text{sign} [e(i-D)_{q=1}] = \begin{cases} +1 & e(i-D) < 0 \\ -1 & e(i-D) \geq 0 \end{cases} \quad (8)$$

dimana $e(i-D)$ adalah kesalahan pengendalian daya pancar pada interval kendali ke $(i-D)$ dengan DT_p merupakan waktu tunda loop umpan balik pada setiap interval ke i .

Jelas, dengan adanya waktu tunda loop umpan balik pada teknik pengendalian daya pancar dengan fluktuasi sinyal yang berubah dengan cepat tidak akan sempurna. Oleh karena itu, untuk mengatasinya diperlukan teknik prediktif agar fluktuasi sinyal yang akan terjadi pada beberapa interval waktu ke depan dapat diprediksi. Hal ini bisa dilakukan karena fluktuasi sinyal pada propagasi multipath memiliki korelasi yang tinggi [21]. Untuk mengamati kinerja teknik pengendalian daya pancar prediktif, waktu tunda D dinyatakan dalam kelipatan perioda kendali T_p . Waktu tunda sebesar $D = 2T_p$ atau $D = 3T_p$ lazim digunakan sebagai asumsi yang masuk akal dalam konteks sistem komunikasi nirkabel selular. Gambar 20 mengilustrasikan besarnya waktu tunda yang lazim terjadi pada sistem komunikasi selular.



Gambar 20. Ilustrasi Waktu Tunda pada Teknik Pengendalian Daya Pancar [19]

Dari Gambar 20 dapat dilihat waktu tunda propagasi kanal *uplink* untuk data dari *mobile station* slot-1 memerlukan waktu dari t_0 sampai t_1 , kemudian pengukuran SIR memerlukan waktu dari t_1 sampai t_2 , yang kemudian harus menunggu waktu transmisi kanal *down link* pada slot-2 dari t_2 sampai t_3 . Setelah propagasi kanal *down link* untuk data pada slot-4 tiba di *mobile station*, baru transmisi berikutnya dapat dilakukan pada saat t_5 yang merupakan awal dari slot-4. Model ini menunjukkan adanya waktu tunda sebesar $D = 2Tp$.

Pada teknik prediksi dengan waktu tunda sebesar D menggunakan filter orde V , faktor prediksi akan merupakan penjumlahan dari sejumlah V sample sebelumnya $\{\beta(i - D), \beta(i - D - 1), \dots, \beta(i - D - V + 1)\}$ dan dinyatakan sebagai [22]

$$\beta_{pred}(i) = \sum_{v=0}^{V-1} a_v(i) \beta(i - D - v) \quad (9)$$

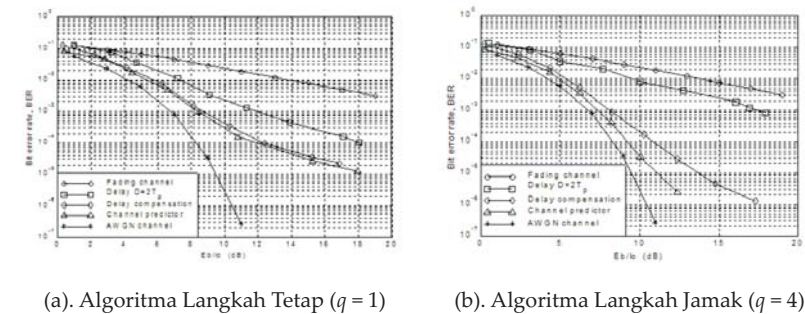
dengan $a_v(i)$, $v = 0, 1, \dots, V-1$ adalah koefisien prediksi linear untuk slot ke i ,

$\beta(i)$ adalah faktor gain dari kanal, dan D adalah waktu tunda yang diasumsikan dalam menentukan jumlah langkah ke depan untuk melakukan proses prediksi. Dengan menggunakan prinsip ortogonalitas, vektor $a(i) = [a_0(i) \ a_1(i) \ \dots \ a_{V-1}(i)]^T$ dengan membuat kriteria minimum untuk nilai *minimum mean square error* (MMSE) dapat dinyatakan sebagai [22]

$$a(i) = R^{-1}(i)r(i). \quad (10)$$

dimana $R(i)$ adalah matriks $V \times V$ sebagai matriks autokorelasi dari sampel masukan, dengan elemen matriks adalah $r(i)_{v,u} = E[\beta(i - D - v) \beta^*(i - D - u)]$, $v, u = 0, 1, \dots, V-1$. Vector $r(i)$ merupakan matrik korelasi silang (*cross-correlation*) antara sampel masukan dengan respons hasil yang diinginkan. Element dari vektor $r(i)$ adalah $r(i)_v = E[\beta(i) \beta^*(i - D - v)]$, $v = 0, 1, \dots, V-1$, dimana $E[\cdot]$ adalah operator ekspektasi.

Kinerja teknik pengendalian daya pancar prediktif untuk mengatasi efek fluktuasi akibat propagasi multipath ditunjukkan pada Gambar 21. Gambar 21 (a) untuk algoritma langkah tetap dengan 1 bit ($q=1$) dan (b) untuk algoritma langkah jamak dengan 4 bit ($q=4$).

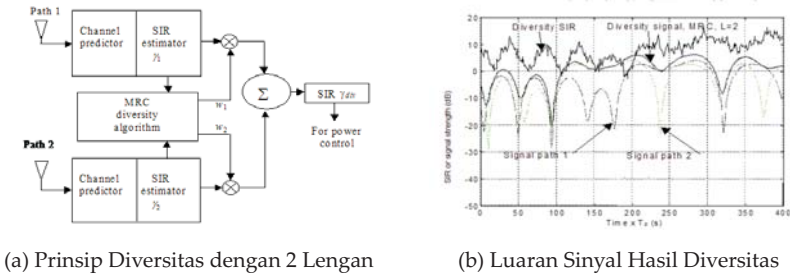


Gambar 21. Kinerja Teknik Pengendalian Daya Pancar [19]

Dari Gambar 21 dapat dicermati bahwa kinerja komunikasi nirkabel dengan propagasi multipath dapat diperbaiki dengan teknik pengendalian daya pancar, terlihat dari membaiknya kurva dengan label fading channel menjadi kurva yang diberi label delay $D=2T_p$. Kemudian teknik pengendalian daya pancar prediktif dapat meningkatkan kinerja menjadi lebih baik lagi, terlihat dari kurna yang diberi label channel predictor. Bahkan kineja pengendalian daya pancar prediktif sangat efektif untuk algoritma pengendalian dengan langkah jamak, yang ditunjukkan dengan kurva yang semakin dekat dengan kurva kanal AWGN pada Gambar 21 (b). Kinerja algoritma prediktif terlihat mengalahkan teknik delay kompensasi yang digunakan sebagai pembanding (diberi label *delay compensation*) karena teknik delay kompensasi hanya bisa mengkompensasi delay loop umpan balik tanpa mengatasi delay selama pengukuran kanal. Sedangkan teknik prediktif mampu mengkompensasi semua delay yang terjadi termasuk delay pengukuran kanal.

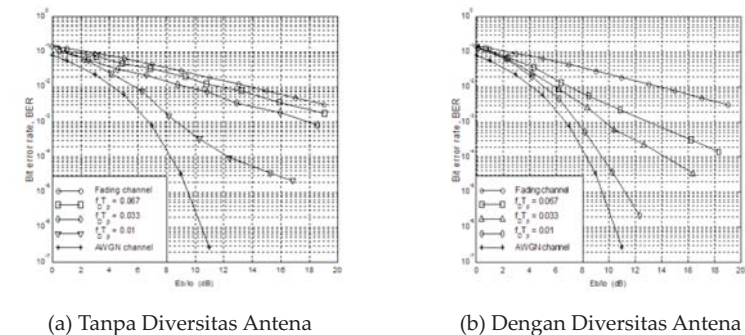
Teknik Pengendalian Daya Pancar dengan Diversitas Antena

Kinerja teknik pengendalian daya pancar dalam mengatasi propagasi multipath belum sepenuhnya mampu mengatasi secara sempurna. Hal ini karena untuk fluktuasi sinyal yang dalam, tidak bisa diatasi dengan baik oleh teknik pengendalian daya pancar. Untuk mengatasinya dilakukan juga kombinasi dengan teknik diversitas ruang (diversitas antena). Prinsip diversitas antena ditunjukkan pada Gambar 21 [19].



Gambar 22. Diversitas Antena dengan Teknik Maximal Ratio Combining (MRC)

Dari Gambar 22 (b) nampak bahwa luaran sinyal hasil diversitas antena, dengan 2 lengan telah menjadikan fluktuasi sinyal menjadi lebih dangkal dan akan berdampak baik terhadap kinerja pengendalian daya pancar. Gambar 23 menunjukkan kinerja pengendalian daya pancar (a) Sebelum dan (b) Sesudah menggunakan diversitas antena.



Gambar 23. Kinerja Pengendalian Daya Pancar dengan Diversitas Antena [19]

Dengan membandingkan kurva-kurva pada Gambar 23 (a) dengan (b), terlihat penggunaan teknik diversitas antena dapat meningkatkan kinerja pengendalian daya pancar dalam mengatasi efek propagasi multipath. Kurva yang diberi label $f_d T_p$ dengan nilai yang berbeda menu-

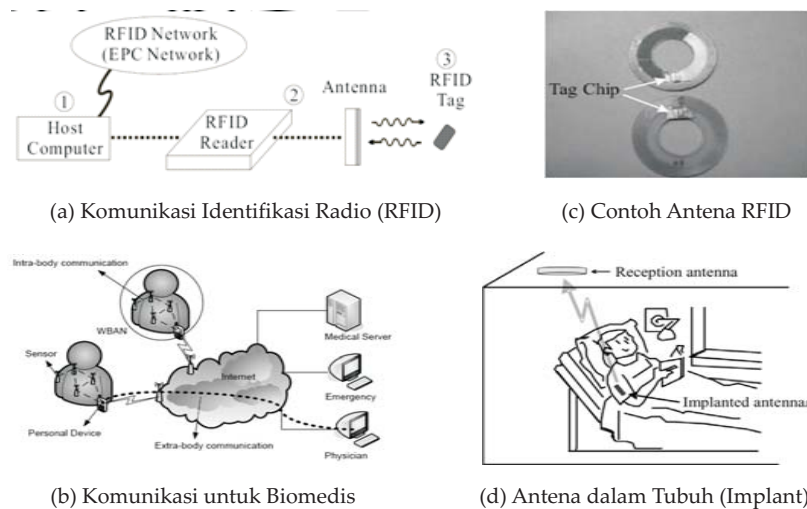
njukkan pengaruh dari laju pengendalian relatif terhadap laju fluktuasi kanal fading. Parameter f_D adalah frekuensi Doppler yang merepresentasikan laju fading, sedangkan T_p adalah interval waktu pengendalian.

5 RENCANA KEGIATAN MENDATANG

5.1 Rencana Riset Bidang Antena

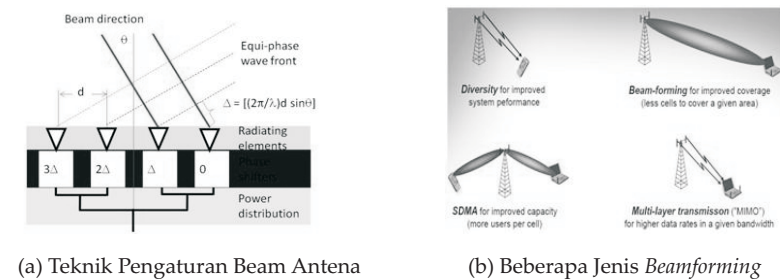
Penelitian di masa depan bidang antena akan mengarah pada kebutuhan antena untuk aplikasi sebagai berikut :

1. Miniaturisasi antena untuk pengindraan (*Radio Frequency Identification*, RFID), menyangkut isu material antena, dimensi antena (*compactness*), dan alokasi spektrum frekuensi. Gambar 24 menunjukkan beberapa contoh kebutuhan antena pada berbagai aplikasi masa depan.



Gambar 24. Miniaturisasi Antena [23]-[24]

2. Riset antena yang dapat dikonfigurasi ulang (*reconfigurable antenna*), menyangkut aspek pemrosesan sinyal, konfigurasi dan struktur, serta bentuk/dimensi dari antena tersebut. Antena yang dapat dikonfigurasi ulang merupakan jenis antena dengan karakteristik dan parameter yang dapat diubah sesuai dengan kebutuhan dan lingkungan secara dinamik.
3. Riset antena cerdas (*smart antenna/software antenna*) akan menjadi perhatian banyak peneliti di masa yang akan datang. Antena cerdas dikembangkan dengan menggabungkan antena sebagai alat (*device*) yang berfungsi sebagai radiator/sensor dengan pemrosesan sinyal yang mengatur cara kerja antena tersebut. Sistem antena cerdas menggunakan susunan dari sejumlah elemen antena (*array*). Beberapa aplikasi yang menggunakan teknik antena cerdas, di antaranya dalam pengaturan berkas radiasi (*beam*) antena [25], seperti ditunjukkan pada Gambar 25.



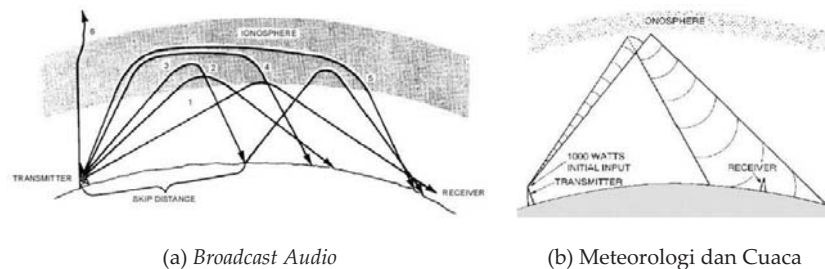
Gambar 25. Beberapa Aplikasi Sistem Antena Cerdas

Pada sistem antena cerdas, elemen antena berfungsi sebagai alat radiator/sensor untuk memancarkan/mendeteksi sinyal, sedangkan

kecerdasan yang diterapkan terletak pada pemrosesan dari sinyal-sinyal yang ditangkap/dicatukan kepada masing-masing elemen antena tersebut.

5.2 Rencana Riset Bidang Propagasi Gelombang

1. Riset propagasi/transmisi gelombang pada sistem komunikasi nirkabel modern akan berlanjut ke arah teknik transmisi *Multi Input Multi Output* (MIMO), transmisi *Multi Carrier* (MC), deteksi *Multi User* (MU) dan mitigasi/reduksi interferensi (*interference mitigation/cancellation*).
2. Riset propagasi gelombang melalui hamburan troposfer dan pantulan ionosfer memiliki prospek untuk aplikasi *Digital Audio Broadcasting* (DAB), meteorologi dan observasi cuaca, sistem komunikasi kemaritiman dengan teknologi *over the horizon radar* (OTH), serta sistem komunikasi untuk penanggulangan bencana.



Gambar 26. Beberapa Aplikasi Propagasi *SkyWave* Masa Mendatang [17]

Gambar 26 menunjukkan propagasi gelombang melalui lapisan troposfer dan ionosfer (*skywave*), yang mampu menjangkau daerah yang

luas menggunakan teknik diversitas makro, sehingga akan lebih unggul dibanding sistem komunikasi terestrial dalam cakupan yang lebih luas dengan jumlah pemancar yang lebih sedikit.

6. PENUTUP

Pada sistem komunikasi nirkabel, antena dan propagasi gelombang memegang peran yang sangat krusial agar proses pengiriman/penerimaan informasi melalui media nirkabel (udara bebas) bisa dilaksanakan dengan baik.

Sejak awal tahun 1990-an komunikasi nirkabel berkembang dengan pesat. Untuk mengatasi permasalahan keterbatasan dan kesulitan dalam penataan dan alokasi spektrum frekuensi, beberapa teknik untuk merancang antena pita ganda atau pita jamak telah menjadi trend penelitian pada saat ini dan masa mendatang. Ke depan, potensi pengembangan bidang keilmuan antena dan propagasi gelombang sangat prospektif dan sekaligus menantang karena kebutuhan sistem komunikasi nirkabel akan terus meningkat.

Riset bidang keilmuan antena dan propagasi gelombang di ITB mau pun pada tingkat nasional sangat penting untuk meraih keunggulan dan kemandirian ITB/nasional dalam bidang TIK, terutama bidang komunikasi nirkabel. Hal ini penting, karena pada saat ini pasokan kebutuhan antena dan perangkat komunikasi nirkabel lainnya masih didominasi oleh produk impor. Dalam jangka pendek ke depan, diharapkan Indonesia akan mampu mengurangi ketergantungan impor;

pada jangka menengah, harus mampu berswasembada industri; bahkan untuk jangka panjang harus kompetitif dan unggul dalam industri antena dan perangkat komunikasi nirkabel lainnya. Sudah seharusnya kemandirian, kekuatan daya saing, dan keunggulan bidang antena dan propagasi gelombang bisa diawali dengan keberhasilan riset dan pengembangan keilmuan yang dilakukan di ITB serta di perguruan tinggi dan lembaga-lembaga riset lainnya di Indonesia.

7. UCAPAN TERIMA KASIH

Perkenankan saya menyampaikan terima kasih kepada pimpinan dan anggota Forum Guru Besar ITB, yang telah memberi kesempatan dan memfasilitasi terselenggaranya orasi ilmiah pada Sidang Terbuka Forum Guru Besar ITB ini. Saya menyampaikan terima kasih juga kepada Prof. Kadarsah Suryadi, Rektor ITB dan Prof. Akhmaloka, Rektor ITB periode sebelumnya, serta para Wakil Rektor, pimpinan dan anggota Senat Akademik ITB, atas motivasi yang telah diberikan kepada saya untuk meniti karir akademik dan berkarya di ITB.

Ucapan terima kasih juga saya sampaikan kepada Prof. Suwarno beserta jajaran Dekanat, para Guru Besar, dan semua rekan dosen Sekolah Teknik Elektro dan Informatika ITB, yang telah bekerjasama dalam berkarya di STEI. Atas dorongan dan motivasi yang diberikan, saya juga menyampaikan terima kasih kepada Prof. Ketut Karsa, Prof. Adang Suwandi, Prof. Tati Richard Mengko, Prof. Kuspriyanto, Prof. Yanuarsyah Haroen, Prof. Reynaldo Zoro, Prof. Gibson Sianipar, Prof. Ngapuli

Sinisuka, Prof. Bambang Riyanto, Prof. Carmadi Machbub, Prof. Suhono Supangkat, Prof. Andriyan Suksmono, Prof. Armein Langi, Prof. Benhard Sitohang, Prof. Iping Supriana, Ir. Herman Judawisastra, Dr. Suhartono Tjondronegoro, Dr. Sugihartono, Ir. Endon Bharata, MT., Prof. Iskandar Alisyahbana (alm), Ir. Hananto Brasali (alm), Ir. Soelaiman Nasserie (alm), Ir. Baidillah (alm), Prof. Ahmadi Djojosoegito (alm), serta semua rekan-rekan dosen di Laboratorium Telekomunikasi Radio dan Gelombang Mikro dan Laboratorium Telematika STEI ITB. Semoga Bapak/Ibu sekalian selalu diberi kesehatan, dan juga semoga para senior yang sudah wafat, diberi tempat yang baik di sisi Allah SWT.

Ucapan terima kasih dan penghargaan saya sampaikan juga kepada Prof. Kenneth Lever (University of South Australia), Prof. Jinho Choi (University of Swansea, UK), Dr. Sylvie Perreau (Defence Science and Technology, Australia), Prof. Eko Tjipto Rahardjo (Universitas Indonesia), Prof. Mauridhi Hery Purnomo (Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya), Prof. Lanny W. Pandjaitan (Universitas Atma Jaya), Prof. Gamantyo Hendranto (Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya) atas persahabatan keskolaran yang telah dijalin.

Sungguh saya sangat berhutang budi kepada kedua orang tua saya, ibu saya Hj. Enung binti Atdja (alm) dan ayah saya H. Oyod bin Daria, yang telah membesarkan dan telah mendidik saya tentang pentingnya kerja keras. Mereka dengan bersusah payah menyekolahkan anak-anaknya, namun saya kagum atas komitmen mereka terhadap pendidikan, semoga Allah SWT memberi tempat yang baik kepada Ibu

yang telah pergi ke alam sana, dan memberi umur serta kesehatan kepada Ayah dalam menjalani sisa usia senjanya. Kepada adik-adikku, Dr. Wagianti, Tuti Natalia, Dr. Iskandar, Rina Indrayani, S. Si, dan Dini Apriliani, S.E, kalian semua sangat berjasa dalam berbagi beban, terutama dalam menjalani masa-masa sulit. Kepada keluarga besar Bapak dan Ibu mertua, Bapak Otong Priatna (alm) dan Ibu Hj. Mamah Daryamah, serta kakak/adik ipar, Drs. Sunizar & kel., Tatang Rohana, MT. & kel., Cecep Setiadi & kel., Asep Puady SE, & kel., dan Lilis Kartini & kel., terima kasih atas dorongan serta doa yang telah dipanjatkan.

Yang terakhir, saya dedikasikan hasil kerja ini kepada istri tercinta, Dr. Enok Wartika, serta kedua anak kami Azmi dan Sandy. Saya berterima kasih kepada kalian semua untuk cinta yang tulus, untuk kesabaran yang tanpa batas, dan untuk pengorbanan tanpa pamrih agar saya bisa sukses dalam banyak hal. Untuk Azmi dan Sandy, terima kasih atas senyum kalian di pagi dan petang hari. Menyaksikan kalian tumbuh berkembang dewasa dan belajar berbagai hal, telah mengingatkan akan ketidaktahuanku terhadap banyak hal.

8 DAFTAR PUSTAKA

- [1]. M. Zeng, A. Annamalai, and V. K. Bhargava, "Recent advances in cellular wireless communications," *IEEE Communications Magazine*, vol. 37, no. 9, pp. 128-138, September 1999.
- [2]. Q. Bi, G. I. Zysman, and H. Menkes, "Wireless mobile Communications at the start of the 21st century," *IEEE*

Communications Magazine, vol. 39, no. 1, pp. 110-116, January 2001.

- [3]. F. Adachi, "Wireless past and future – Evolving mobile communications Systems," *IEICE Transactions on Fundamentals*, vol. E84, no. 1, pp. 55-60, January 2001.
- [4]. G. Garratt, "The Early History of Radio from Faraday to Marconi, "The Institution of Electrical Engineers," London, 1995, pp. 5-11.
- [5]. K.R. Carver, J.W. Mink, "Microstrip Antenna Technology," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, V. AP-29, Jan. 1981, pp. 2-24.
- [6]. J.D. Kraus, R.J. Marhefka, *Antennas. For All Applications*. McGraw-Hill, Int. Edition, 3rd Edition, Boston, 2003.
- [7]. S. Maci and G. B. Gentili, "Dual Frequency Patch Antennas," *IEEE Antenna & Propagation Magazine*, Vol. 39, No. 6, December 1997, pp. 28-36.
- [8]. Shun-Shi Zhong; Jun-Hai Cui, "Compact dual-frequency microstrip antenna," *IEEE Antennas Propagation Society International Symposium*, vol. 4, pp. 2196 - 2199, July, 2000.
- [9]. J. S. Jeon, "Design of Wideband Patch Antennas for PCS and IMT-2000 Services," Technical Report, Korea Telecom Freetel, Seoul, July 2002
- [10]. A. Kurniawan, C.A. Jati, and Y. Wahyu, "Design and implementation of 2.4/5.2 GHz dual band antenna for WLAN applications," in *Proceeding of Joint International Conference on Telematics System, Services, and Applications (TSSA) and Wireless Systems, Services,*

and Applications (WSSA) 2006, Bandung, 8-9 December 2006, pp. 132-136.

- [11]. A. Kurniawan, Iskandar, A. Salbiyono, and M. Imaduddin, "An Array of Four Triangular Slot Antennas with Rectangular Tuning Stub for Dual-Band Wireless LAN Applications," in Proceeding of International Conference on Telematics System, Services, and Applications (TSSA) 2007, Bandung, 6-7 December 2007
- [12]. A. Kurniawan, A.B. Suksmono, and W. Kristianto, "Design and realization of fractal Koch for dual band applications at 2.4/ 5.8 GHz" in Proceeding of Joint International Conference on Telematics System, Services, and Applications (TSSA) and Wireless Systems, Services, and Applications (WSSA) 2006, Bandung, 8-9 December 2006, pp. 329-333.
- [13]. Wong, Kin-Lu, "Dual frequency equilateral-triangular microstrip antenna with a slit," Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 19, No. 5, December 1998.
- [14]. P.D. Beukelaar, J. Dijkstra, M. Meinster, and P. Wilms, "Locating a buried culvert and the detection of underground cables and pipelines using GPR," 10th European meeting of environmental and engineering geophysics, Netherland, 2004.
- [15]. D.J. Daniels, *Ground Penetrating radar*, 2nd Edition, The Institution of Electrical Engineers, 2004.
- [16]. A. Kurniawan, A. A. Pramudita, and Iskandar, "Resistive Loading Technique to Improve Input Impedance Stability of GPR Antenna,"

the 5th International Conference on Telematic Systems, Services, and Applications (TSSA) 2009, Bandung 19-21 November 2009, pp. 60-63.

- [17]. Picquenard, Radio Wave Propagation, MacMillan, London, 1974.
- [18]. N. Blaunstein and C. Christodoulou, Radiowave Propagation and Adaptive Antennas for Wireless Communication Links. Wiley Interscience A John Wiley & Sons Inc. New Jearsey, 2007.
- [19]. A. Kurniawan, Predictive Power Control in CDMA Systems. PhD dissertation, Institute for Telecommunications Research, University of South Australia, 2002.
- [20]. W. C. Y. Lee, "Estimate of local average power of a mobile radio signal," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. VT-34, no. 1, pp. 22-27, February 1985.
- [21]. B. Sklar, "Rayleigh fading channels in mobile digital communication systems part II: Mitigation," *IEEE Communications Magazine*, vol. 35, no. 7, pp. 102-109, July 1997.
- [22]. S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1991.
- [23]. Turcu (Ed.), "Development and Implementation of RFID Technology," ISBN 978-3-902613-54-7, Jan. 2009, InTech, Rijeka, Croatia.
- [24]. W. Xia, K. Saito, M. Takahashi and K. Ito, "Performances of an Implanted Cavity Slot Antenna Embedded in the Human Arm," *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, vol. 57, no. 4, pp. 894-899, Apr. 2009.

[25]. Balanis, C.A. "Antenna Theory: Analysis and Design", 3rd ed., John Wiley & Sons., New Jersey, 2005.

CURRICULUM VITAE



Nama : **ADIT KURNIAWAN**
Tempat/tgl lahir : Bandung, 25 Nopember 1961
Kel. Keahlian : Teknik Telekomunikasi
Alamat Kantor : Jalan Ganesha 10 Bandung
Nama Istri : Dr. Enok Wartika, S.Sos., M.Si.
Nama Anak : 1. Azmi Ghalib Austin
2. Sandy Ahmad Munazat

I. RIWAYAT PENDIDIKAN

- Doctor of Philosophy (Ph.D.), Bidang Telecommunication Engineering, University of South Australia, Australia, 2003.
- Master of Engineering (M.Eng), Bidang Communication and Electronics Engineering, RMIT University, Australia, 1996.
- Sarjana (Ir), Bidang Teknik Elektro/Telekomunikasi, Institut Teknologi Bandung (ITB), 1986.

II. RIWAYAT KERJA di ITB

- 2014 - skrg. Ketua KK Teknik Telekomunikasi.
- 2009 - 2013 Ketua Program Studi Teknik Telekomunikasi.
- 2008 - 2014 Ketua Tim Kurikulum S1 Teknik Telekomunikasi.
- 2009 – 2010 Ketua Tim Akreditasi Program Studi Teknik Telekomunikasi.
- 2008 - 2010 Anggota Komisi Program Sarjana (KPS) STEI.
- 2005 Anggota Majelis Departemen di Lingkungan Fakultas Teknologi Industri.
- 2004 - 2006 Ketua Dewan Redaksi Majalah Ilmiah Teknik Elektro (MITE) Departemen Teknik Elektro.
- 2004 Anggota Tim Kajian Unit Keilmuan Serumpun (UKS) Departemen Teknik Elektro FTI.

III. RIWAYAT KEPANGKATAN

- Penata Muda IIIa 1-12-1991
- Penata Muda Tk. I IIIb 1-10-1995
- Penata IIIc 1-4-1998
- Penata Tk. I IIId 1-4-2005
- Pembina IVa 1-10-2007
- Pembina Tk.II IVb 1-04-2014

IV. RIWAYAT JABATAN FUNGSIONAL

- Asisten Ahli Madya 1-6-1992
- Asisten Ahli 1-9-1995
- Lektor Muda 1-10-1997
- Lektor 1-1-2001
- Lektor Kepala 1-8-2004
- Guru Besar 1-1-2014

V. PENGAJARAN

- Antena dan Propagasi Gelombang
- Sistem Komunikasi Selular
- Jaringan Akses Nirkabel.

VI. KEGIATAN AKADEMIK NASIONAL/INTERNASIONAL

- 2014 General Chair of the International Conference on Electrical Engineering and Computer Science, 24-25 November 2014, Denpasar.
- 2014 Kuliah Umum, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, September 2014.
- 2014 Key Note Speaker Seminar Sistem Telekomunikasi dan Informasi di Unika Atmajaya 27-28 Oktober 2014.
- 2013 Delegasi Member Institution ke Regional Conference RC-CIE, AUN/SEED-Net, Bangkok, Thailand.
- 2013 Steering Committee The 7th national radar seminar and the 2nd International Conference on radar, Antenna, Microwave, electronics and Telecommunications (ICRAMET), Indonesia.

- 2012 Komite Pengarah Seminar Nasional Microwave, Antena, dan Propagasi (SMAP), Pusat Studi Jepang Kampus UI.
- 2011 Supervisor Program Internship Mahasiswa Internasional, asal India.
- 2010 Penguji Eksternal sidang tertutup/terbuka Doktor, Universitas Indonesia, Universitas Hasanuddin, Makassar.
- 2010 Thesis Examiner, University of South Australia, Adelaide, Australia.
- 2011 Reviewer British Journal on Applied Science and Technology.
- 2013 Reviewer IEEE International Journal on Wireless Information Network.
- 2013 Reviewer EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking Research.
- 2010 Reviewer International Journal on electrical Engineering and Informatics.
- 2006 Reviewer Journal of European Transactions on Telecommunication (ETT).

VII. KEGIATAN PENELITIAN

- 2015 Pengembangan teknologi informasi pedesaan untuk percepatan penetrasi informasi dan komunikasi ke daerah terpencil (tahun III), Riset PenPrinas MP3EI DIKTI.
- 2015 Sistem CDMA Menggunakan Teknik RAKE, Power Control, Diversity, Muticarrier dan Multiuser, Riset Hibah Kompetensi DIKTI.
- 2015 Perancangan dan Fabrikasi Susunann Antena Mikrostrip Kompak dan Murah untuk Penerima TV Satelit, Riset dan Inovasi ITB
- 2014 Pengembangan teknologi informasi pedesaan untuk percepatan penetrasi informasi dan komunikasi ke daerah terpencil (tahun II), Riset PenPrinas MP3EI DIKTI.
- 2014 Peningkatan Kapasitas Sistem Selular CDMA Menggunakan Deteksi Multi User, Riset dan Inovasi KK ITB.

- 2013 Pengembangan teknologi informasi pedesaan untuk percepatan penetrasi informasi dan komunikasi ke daerah terpencil (tahun I), Riset PenPrinas MP3EI Dikti.
- 2013 Disain dan perancangan antenna untuk integrasi teknologi komunikasi data nirkabel, Riset Desentralisasi DIKTI.
- 2013 Perancangan antenna pita lebar utk komunikasi nirkabel, Riset dan Inovasi KK ITB.
- 2012 Peningkatan kapasitas sistem multi carrier CDMA pada sistem komunikasi selular non line of sight (NLOS), Riset dan Inovasi KK ITB.
- 2011 Evaluasi Praktis Kinerja Pengendalian Daya Pancar untuk Mengatasi Efek Transmisi Lintasan Jamak pada Sistem Komunikasi Nirkabel, Riset KK ITB.
- 2011 Rekayasa Antena Mikrostrip untuk Memfasilitasi Komunikasi Data Nirkabel pada Sistem Transportasi (Tahap 3), Riset DIKTI strategi nasional.

VIII. PUBLIKASI

BUKU

- 2012 Femtocell Performance over non-SLA xDSL Access Network", Book Chapter, *Mobile Networks*, ISBN 979-953-307-568-5, InTech (www.intechopen.com), year 2012, (50 halaman).

JURNAL INTERNASIONAL

1. **Adit Kurniawan**, "Power Controlled Multicarrier and Multiuser Detection Techniques in Wireless CDMA Systems," International Journal on Electrical Engineering and Informatics (IJEI), Vol. 6, No. 3, September 2014, pp. 622-634.
2. Baso Maruddani, **A. Kurniawan**, Sugihartono, Achmad Munir, "Prediction method for rain rate and rain propagation attenuation for K-band satellite communication link at tropical area," Journal of ICT Research and Application, Vol. 8C No. 1, 2014.
3. Irma Zakia, Soehartono Tjondronegoro, Iskandar, and **Adit**

Kurniawan, "On the Tracking Performance of Least Squares MIMO Channel Estimation in Ricean Fading," IEICE Communication Express, Vol. 3, No. 1, January 2014, pp. 27-32.

4. **Adit Kurniawan** and Salik Mukhlisin, "Wideband and Multiband Antenna Design and Fabrication for Modern Wireless Communications Systems," Journal on ICT Research and Application, Vol. 7, No. 2, December 2013, pp. 151-163.
5. Irma Zakia, Soehartono Tjondronegoro, Iskandar, and **Adit Kurniawan**, "Received Least Squares Beamforming on Ka-band Channel Model of HAP System," International Journal on Electrical Engineering and Informatics (IJEI), Volume 5, No. 4, December 2013, pp. 454-473.
6. **Adit Kurniawan**, "Practical Evaluation of Power Control Performance for Multipath Mitigation in Wireless Mobile Communication," International Journal on Electrical Engineering and Informatics (IJEI), Vol. 4, No. 3, October 2012, pp. 435-451.
7. **A. Kurniawan**, Iskandar, and P.H. Mukti, "A 2.3/3.3 GHz Dual Band Antenna Design for WiMax Applications" ITB Journal on ICT, No. 2, Vol. 4, November 2010, November 2010.
8. A.A. Lestari, E. Bharata, A.B. Suksmono, **A. Kurniawan**, A.G. Yarovoy, and L.P. Ligthart, "A Modified Bow-Tie Antenna for Improved Pulse Radiation," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Issue 7, Vol. 58, July 2010.
9. Savitri Galih, Trio Adiono, **Adit Kurniawan**, "Low complexity MMSE channel estimation by weight matrix element sampling for downlink OFDMA mobile Wimax systems," International Journal of Computer Science and Network Security (IJCSNS), No. 2, Vol. 10, February 2010.
10. A. Adya Pramudita, **A. Kurniawan**, A. Bayu Suksmono, A. Andaya Lestari, "Effect of Antenna Dimension on Its Footprint in GPR Application," International Journal on IET Microwave, Antenna & Propagation, Issue. 8, Vol. 3/2009, ISSN 1751-8733; Stevenage Herts, UK.
11. A.A Pramudita, A. Kurniawan, A.B Suksmono, "Hexagonal Monopole

Strip Antenna with Rectangular Slot for 100-1000 MHz SFCW GPR," International Journal on Antenna and Propagation, Article ID 391386, Vol. 2008/2008, ISSN 1687-5869 New York-USA.

JURNAL NASIONAL

1. **A. Kurniawan**, "A Combined Diversity and Power Control Technique to Combat Rayleigh Fading in CDMA Cellular Systems," Jurnal Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi, No. 1, Vol. 15 Juni 2010.
2. **A. Kurniawan**, Iskandar, and P.H. Mukti, "A 2.3/3.3 GHz Dual Band Antenna Design for WiMax Applications" ITB Journal on ICT, No. 2; Vol. 4 November 2010.
3. Baso Maruddani, **Adit Kurniawan**, Sugihartono, and Achmad Munir, "Pengukuran dan Pemodelan Redaman Propagasi pada Kanal satelit Pita K/Ka dengan Hidden Markov Model di daerah Tropis," Jurnal Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi, No. 1, Vol. 16 Juni 2011.
4. B. Maruddani, **A. Kurniawan**, Sugihartono dan A. Munir, "Pemodelan Kanal Fading Hujan untuk Aplikasi Radar Ka-band dengan Model Markov Tersembunyi," Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi LIPI, Vol. 10, No. 2 Juni-September 2010.
5. Y. Wahyu, **A. Kurniawan**, Sugihartono, A.S. Ahmad, dan A.A. Lestari, "Susunan Rolled Dipole untuk Ground Penetrating radar (GPR)" Jurnal Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi; No. 2; Vol. 14 Desember 2009.
6. Savitri Galih, Riafeni Karlina, Fifin Nugroho, Trio Adiono, **Adit Kurniawan**, "A comparative study of channel estimation based on symbol source of pilot for downlink OFDMA system on IEEE 802.16e standard" Jurnal Penelitian dan Pengembangan Telekomunikasi; No. 1; Vol. 14 Juni 2009.
7. **A. Kurniawan**, Iskandar & Sayid Machdar, "Improved Predictive Power Control Algorithms to Increase CDMA System Capacity", ITB Journal of Engineering Science; No. 2; Vol. 41 November 2009.
8. **A. Kurniawan**, Iskandar, and Sayid Machdar, "Improved predictive

power control of CDMA systems in Rayleigh Fading Channel," Jurnal Makara, Teknologi; Vol. 13, No. 1 April 2009, ISSN 1693-6698.

9. **A. Kurniawan**, A. Hasyim, and Y. Wahyu, "Realization of a second harmonic antenna for rural communications" Proceedings ITB Engineering Science Vol. 38 B, No. 2, 2006, pp. 101-115.

PROSIDING SEMINAR INTERNASIONAL

1. **Adit Kurniawan**, "Effect of Power Imbalance on Multiuser Detection of DS-CDMA Systems," in Proceedings of the International Conference on Electrical Engineering and Computer Science (ICEECS) 2014, Denpasar, 24-25 November 2014, pp.235-239.
2. **Adit Kurniawan**, "Successive Multiuser Detection Technique in DS-CDMA Systems," in Proceedings of The 7th International Conference on Telecommunication System, Services, and Applications (TSSA) 2014, Denpasar, 23-24 October 2014.
3. **Adit Kurniawan**, "Step-Size Optimization of Power Control Algorithm in CDMA Cellular Communication Systems," AUN/SEED-Net RC-EEE/ISMAC Regional Conference, Bangkok, 4-5 February 2013, pp. 116-119.
4. **Adit Kurniawan**, "Predictive Power Control in CDMA Wireless Communications Systems, ", Proceedings Regional Conference on Computer and Information Engineering (RC-CIE), Bangkok, August 22-23, 2013, pp. 1-6.
5. **Adit Kurniawan**, Salik Mukhlisin, "Wideband Antenna Design and Fabrication for Modern Wireless Communications Systems", Procedia Technology (Sciencedirect-Elsevier), 2013/4th International Conference on Electrical Engineering and Informatics, ICEEI 2013, pp. 348-353.
6. **Adit Kurniawan**, "Step-Size Optimization of Power Control Algorithm in CDMA Cellular Communication Systems", AUN/SEED-Net RC-EEE/ISMAC Regional Conference, 2013, Bangkok, Thailand, 4-5 February 2013, pp. 116-119.
7. **Adit Kurniawan** and Enok Wartika, "Evaluation of Access Technology to Speed -Up Internet Penetration in Remote Areas, Case

- Study: Community Access Point in Regency of Garut, West Java, Indonesia," in Proceedings of the 7th International Conference on telecommunication System, Services and Application (TSSA) 2012, Denpasar, Bali, 30-31 Oktober 2012, pp. 351-355.
8. **Adit Kurniawan**, "Power Controlled MC-CDMA in Cellular Communication Systems," in Proceedings of the 7th International Conference on telecommunication System, Services and Application (TSSA) 2012, Denpasar, Bali, 30-31 Oktober 2012, pp. 345-349.
 9. **A. Kurniawan** and Iskandar, "Design of 2.3/3.3/5.8 GHz antenna array for wireless communications in transportation systems," in Proceedings of the 6th International Conference on Telematic Systems, Services, and Applications (TSSA) 2009, Denpasar 20-21 October 2011, pp. 224-226.
 10. **A. Kurniawan** and Iskandar, "Practical Evaluation of Power Control in Wireless Mobile Communication," in Proceeding of the 6th International Conference on Telematic Systems, Services, and Applications (TSSA) 2011, Denpasar 20-21 October 2011, pp. 241-245.
 11. **A. Kurniawan**, "Research on antennas to facilitate fast growing wireless data communications," Indonesia Malaysia Microwave Antenna Conference (IMMAC) 2010, Jakarta, 11-12 June, 2010, Day-1, section Filter.
 12. **A. Kurniawan**, Iskandar, and H. Mistialustina, "Bandwidth Enhancement of 2.3/2.4 GHz Microstrip Antenna using Stub Loading Staggering Technique," "The 5th Internatinal Conference on Telematic Systems, Services, and Applications (TSSA) 2009, Bandung 19-21 November 2009, pp. 64-66.
 13. **A. Kurniawan**, A.A. Pramudita, and Iskandar, "Resistive Loading Technique to Improve Input Impedance Stability of GPR Antenna," The 5th Internatinal Conference on Telematic Systems, Services, and Applications (TSSA) 2009, Bandung 19-21 November 2009, pp. 60-63.
 14. **A. Kurniawan**, "A simple SIR estimator for CDMA systems," International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICEEI) 2007, vol. 1, pp. 278-280, Bandung, 17-19 June 2007, session 12 H-25.

PROSIDING SEMINAR NASIONAL

1. **A. Kurniawan**, "Teknik Deteksi Multiuser pada Sistem CDMA," Seminar Nasional Forum Pendidikan Tinggi Teknik Elektro Indonesia (FORTEI) 2014, Bandung 2-4 Juni 2014.
2. Enok Wartika dan **Adit Kurniawan**, "Strategi Percepatan Penetrasi Teknologi Informasi ke Daerah Terpencil," Proseding pada Seminar Nasional Integrasi Kebijakan dan Penguatan Industri Nasional Menuju Percepatan dan Perluasan Ekonomi Indonesia, Semarang, 30 Oktober 2012, halaman 62-80.
3. Febrian Wijoseno, **Adit Kurniawan**, and Arwin D.W. Sumantri, "Tinjauan Pemanfaatan Teknologi Selular GSM Diaplikasikan sebagai Pasif Radar," Seminar Radar Nasional 2009, Bandung, 30 April 2009, pp. 1-5.
4. **A. Kurniawan**, A.A. Pramudita, A.E. Saputra, and Iskandar, "Implementation of Array Antenna for Footprint Adjustment on SFCW-GPR Application" Proceedings of Advances of Electrical Engineering and Informatics, PPTIK – ITB, Novemver 2008, pp. 83-90.
5. A.A Pramudita, **A. Kurniawan**, A.B Suksmono, dan A.A Lestari, "Metode pengaturan impedansi input antenna pada sistem SFCW GPR 100 - 1000 MHz," "Seminar Radar Nasional 2008, Jakarta 30 April 2008, pp.69-72.
6. Hendra Setiawan, Trio Adiono, dan **Adit Kurniawan**, "Perancangan pembangkit kode OVSF untuk standard komunikasi downlink WCDMA," Seminar Nasional Teknologi Informasi (SNTI) 2007, Jakarta, 3 Nopember 2007, pp. 21-24.
7. Hendra Setiawan, Trio Adiono, dan **Adit Kurniawan**, "Proses sinkronisasi frame pada komunikasi downlink CDMA," "Seminar Riset Teknologi Informasi (SRITI) 2007 Yogyakarta, 7 Juli 2007, Session E-7.
8. Adya Pramudita, **A. Kurniawan**, A.B. Suksmono, "Antena Adaptif untuk Aplikasi Stepped Frequency Continuous Wave (SFCW) Ground Penetrating Radar (GPR)," "Konferensi SITIA 2007 Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 9 Mei 2007, sesi PA 025.

9. A. Pramudita, **A. Kurniawan**, A.B. Suksmono, dan A.A Lestari, "Pengaturan Footprint Antenna dengan Modified Dipole Array Untuk SFCW-GPR," Seminar Radar Nasional, Jakarta, April 2007, pp. 8-13.

IX. PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT

- 2015 Nara sumber FGD rencana penelitian dan pengadaan Radar Over The Horison (radar OTH) kepada Badan Keamanan Laut (BAKAMLA) Republik Indonesia.
- 2015 Nara sumber persaingan usaha Telekomunikasi kepada Komisi Pengawas Persaingan Usaha (KPPU).
- 2014 Nara Sumber FGD Spektrum Frekuensi dan Orbit Satelit, Direktorat SDPPI, Kementrian Kominfo.
- 2012 Nara Sumber Workshop Kesiapan Menuju Terbentuknya Ekosistem Wireless Broadband 2.3 GHz, Ditjen Sumber Daya dan Perangkat Pos dan Informatika, Kementrian Kominfo.
- 2012 Pelatihan Manajemen dan Jaringan Komputer di Pemerintah Kabupaten Garut.
- 2011 Bimbingan Teknis dan Nara Sumber dalam kegiatan pelatihan TIK, Bagian Informatika Pemerintah Kabupaten Garut.
- 2010 Nara Sumber Riset Manajemen Spektrum Frekuensi Ditjen POSTEL, Kementrian Kominfo.

X. PENGHARGAAN

- 2013 Penghargaan Satyalancana Karya Satya XX tahun, dari Presiden Republik Indonesia.
- 2012 Penghargaan Dosen Berprestasi, Fakultas/Sekolah, STEI ITB.

XI. SERTIFIKASI

- 2007 Sertifikasi Asesor BAN-PT. Badan Akreditasi Nasional Pendidikan Tinggi.
- 2008 Sertifikasi Dosen. Kementerian Pendidikan Nasional.

