

Cognitive Radio: Sistem Radio Cerdas

Mudrik Alaydrus

Magister Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana

Abstrak

Tuntutan komunikasi nirkabel yang handal dan kapasitas sistem yang tinggi tidak terlepas dari ketersediaan resource berupa spectrum frekuensi yang cukup. Pemanfaatan spectrum secara efisien yang semaksimal mungkin dengan interferensi yang bisa ditoleransi adalah tujuan penting sistem radio kognitif. Ada tiga langkah penting dalam radio kognitif, observasi kondisi lapangan, mengambil keputusan melalui suatu proses optimasi dan men-setting parameter pemancar. Hal kunci dalam sistem radio kognitif adalah manajemen spectrum yang dinamis, suatu interval frekuensi yang bebas digunakan oleh pengguna, di kala pengguna utamanya (primary user) sedang tidak menggunakan. Penggunaannya tidak terikat pada suatu teknologi tertentu.

Keywords: Komunikasi nirkabel, radio kognitif, spectrum management, optimasi, interferensi,

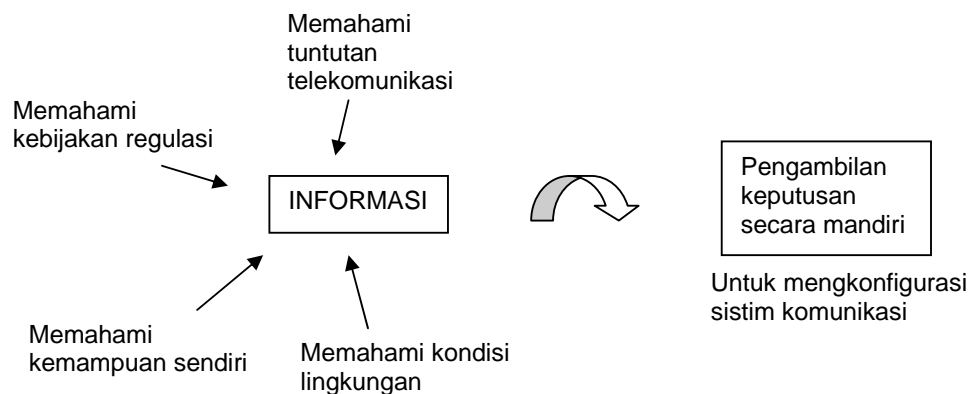
1. PENDAHULUAN

Dalam dunia telekomunikasi nirkabel (*Wireless Communications*) spectrum frekuensi adalah hal yang mendapatkan perhatian penting, karena melalui spectrum inilah data bisa dikirimkan, semakin besar interval frekuensi didapatkan, semakin tinggi pula kecepatan data (*data rate* dalam bps) yang bisa diperoleh. Karena spectrum sangat penting dan merupakan sumber daya (*resource*) yang terbatas, penggunaannya harus dilakukan secara efisien dan se-maksimal mungkin. Di sini yang lain, menggunakan spectrum secara maksimal sering kali bertemu dengan kondisi negative yang akan muncul karenanya, yaitu membesarnya interferensi antar pengguna saluran telekomunikasi ini. Konsep radio kognitif diharapkan bisa menanggulangi masalah ini.

Istilah radio kognitif (*cognitive radio*) pertama kali diperkenalkan oleh Mitola [1], yang mana, radio kognitif didefinisikan sebagai sistem radio yang memahami konteks keberadaan dalam suatu lingkungan komunikasi, yang bisa mengatur parameternya secara optimal dalam melakukan proses komunikasi. Sejak saat itu, istilah *cognitive* sering digunakan oleh para peneliti di seluruh dunia, dengan berbagai macam penamaannya. Istilah sederhana untuk menggambarkan radio kognitif adalah sebuah radio yang sangat cerdas. Sistem radio memang semakin bertambah cerdas dalam beberapa decade terakhir ini, misalnya, alat komunikasi generasi ketiga (3G) yang mampu untuk mengubah level daya pancarnya secara dinamis sesuai dengan kondisi di lapangan. *Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)* menawarkan sistem modulasi yang adaptif. Sistem WiMAX mampu mengubah jenis modulasi digital yang digunakan sesuai dengan

kondisi kualitas sinyal terima dibandingkan dengan noise, carrier to interference ratio (C/I.) Dari teori modulasi digital [2], diketahui modulasi dengan skema berordo tinggi menawarkan data rate yang lebih tinggi dengan lebar pita frekuensi yang sama. Misalnya quaternary phase shift keying (QPSK/4PSK) menawarkan data rate dua kali lebih banyak dibandingkan binary phase shift keying (BPSK), sedangkan 16PSK menawarkan 4 kali lebih besar dari BPSK. Demikian juga 64-quadrature amplitude modulation (64QAM) menghasilkan data rate yang 1,5 kali lebih besar dibandingkan dengan 16QAM. Jadi modulasi dengan skema berordo tinggi menjadi pilihan jika diinginkan transfer data kecepatan tinggi. Tetapi modulasi tipe ini memiliki kinerja yang buruk terhadap C/I. Hanya jika C/I bagus saja bisa menghasilkan bit error rate (BER) yang sesuai dengan spesifikasi. WiMAX menggunakan modulasi skema dengan ordo yang paling besar, jika C/I besar, atau jika kedua pengguna jaringan berdekatan. Dengan semakin menjauhnya kedua pengguna, C/I menjadi mengecil, maka digunakan modulasi dengan skema ordo lebih rendah.

Sistim radio kognitif juga menggunakan sifat adaptif seperti dijelaskan di atas, bahkan lebih dari itu. Yaitu, derajat adaptasinya yang membesar secara signifikan dan jika memungkinkan, diaplikasikan pada banyak parameter kerja, seperti frekuensi kerja, daya pancar, skema modulasi, diagram pancar antena, penggunaan baterai, penggunaan prosesor, dan lain sebagainya. Adaptasi sistim juga bisa berlangsung secara direncanakan atau juga tidak direncanakan. Sistim akan mempelajari pola penyesuaian kondisi di lapangan, kondisi-kondisi yang berulang kali terjadi dan pengalaman yang lalu, akan digunakan untuk mengantisipasi kejadian yang akan datang.



Gambar 1. Proses cognitive pada sistim radio.

Radio kognitif adalah sebuah sistim yang memiliki empat jenis masukan (*input*), yaitu kondisi lingkungan, kondisi sistim itu sendiri, kebijakan regulasi yang berlaku, dan tuntutan telekomunikasi (gambar 1). Sistim radio kognitif harus benar-benar mengenal posisi dan kondisi kerjanya. Keempat masukan tadi akan menjadi bahan pemikiran sistim tersebut untuk mengambil suatu tindakan secara mandiri, yaitu berupa konfigurasi sistim untuk menyesuaikan dengan tuntutan yang ada dengan tetap memperhatikan batasan-batasan dan konflik (interferensi)

yang mungkin akan muncul akibat keputusan tadi.

Yang menjadi bahan diskusi menarik dari proses kognitif di atas (gambar 1) adalah, bagaimana radio kognitif mendapatkan masukan-masukan tersebut, memprosesnya dan mengambil keputusan (konfigurasi sistem) dalam bentuk suatu tindakan tertentu. Sebelum dibahas hal-hal tersebut, akan dibahas dahulu masalah manajemen spectrum, yang merupakan awal dari pembicaraan dengan sistem radio kognitif.

Manajemen spectrum secara tradisional adalah proses untuk mengkordinir bagaimana spectrum itu digunakan (untuk aplikasi apa dan menggunakan teknologi apa), dan siapa yang menggunakan. Proses bagaimana spectrum digunakan dinamakan *allocation*, dan proses siapa yang menggunakan disebut juga *assignment*. Target dari manajemen spectrum adalah mendapatkan keuntungan komunitas (*society gain*), dengan dipergunakannya resource ini secara maksimal, dengan interferensi yang minimal antar pengguna.

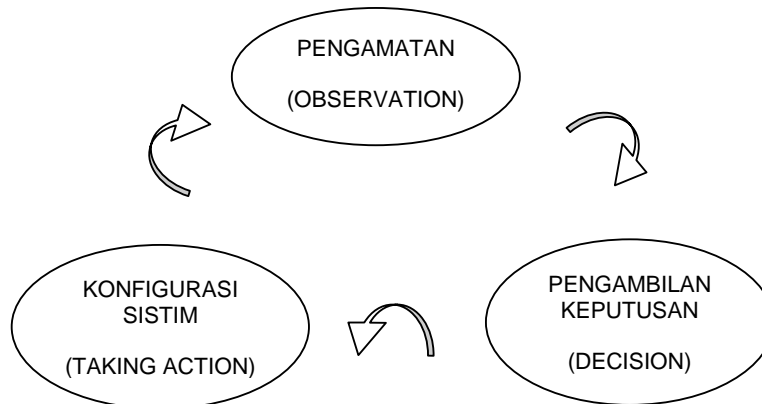
Regulator, yang pada level global diwakili oleh *International Telecommunication Union* (ITU), mengalokasikan spectrum dari 9 kHz sampai 275 GHz ke beberapa wilayah pemakaian. Di level negara ada regulator yang bertugas mengawasi pemakaian spectrum ini. Pemberian dan kontrol yang ketat ini memudahkan regulator untuk me-manage interferensi. Sebuah interval frekuensi diberikan pada suatu organisasi atau pemakai spectrum, dan tak ada pengguna lain memakainya.

Kondisi pemberian spectrum yang seperti ini, seperti yang akan ditunjukkan melalui pengukuran di bagian 3 nanti, tidaklah efisien dalam penggunaannya. Ada terlalu banyak *white spot* atau *frequency hole* pada spectrum tersebut. Yang dimaksud dengan kedua istilah itu adalah spectrum yang walaupun secara hukum diberikan pada suatu pemakai, tetapi pada waktu-waktu tertentu (dan ini bisa cukup sering), atau pada lokasi-lokasi geografis tertentu, tidak terpakai. Mengapa tak boleh digunakan oleh pihak lain ?

Pengelolaan spektrum secara dinamis memberikan harapan yang memiliki prospek cukup bagus. Jika memang pengguna utama (*primary user*), sebagai pemilik spectrum, sedang tidak menggunakan spectrum itu, maka pengguna lain (*secondary users*) boleh memakainya. Dan jika pengguna utama mau menggunakan, pengguna lain harus pindah ke frekuensi lain, atau menghentikan komunikasinya.

Sebelum memutuskan untuk memakai frekuensi tadi, pengguna lainnya, yang didefinisikan di sini sebagai sistem radio kognitif, harus melakukan pengamatan yang benar-benar akurat untuk memastikan frekuensi itu benar-benar 'free'. Setelah itu, melalui berapa kombinasi parameter (variable) dilakukan proses optimasi untuk bisa diambil keputusan, apa yang harus di-set oleh sistem radio kognitif, sehingga spectrum yang kosong tadi bisa dimanfaatkan tanpa menimbulkan interferensi yang berarti. Tiga proses ini terus menerus dilakukan oleh sistem radio kognitif.

Gambar 2 menunjukkan siklus radio kognitif yang terdiri dari tiga langkah penting: observation – decision – act.



Gambar 2. Siklus sistim kognitif (observe – decide - act).

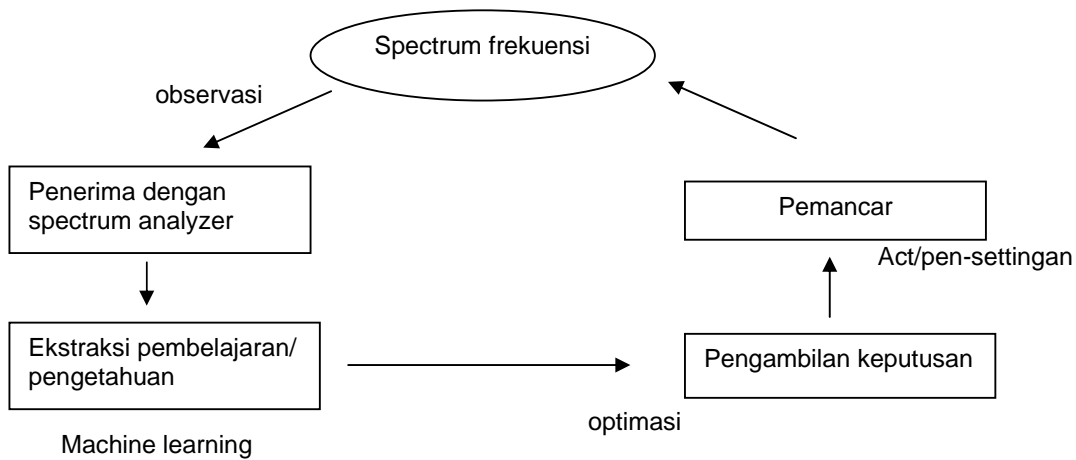
Hal lain yang cukup menarik pada sistim radio kognitif adalah, pengguna spectrum yang kosong tadi boleh memanfaatkan resource ini dengan segala macam sistim teknologi dan layanan, istilah yang dikenal dengan kondisi *technology and service-neutral*. Teknologi apa yang digunakan, baik narrowband, wideband (spread spectrum), multi-carrier (orthogonal frequency division multiplexing/OFDM), dengan antena banyak (multiple input multiple output/MIMO), tidak diatur dari awal, tetapi diputuskan dalam perjalanannya sesuai dengan kondisi di lapangan. Prinsipnya adalah memanfaatkan resource yang pada suatu saat tertentu, di suatu lokasi tertentu secara optimal. Pendekatan yang netral secara teknologi dan layanan ini adalah pendekatan yang berbasis pasar. Pasar yang mengatur teknologi dan layanan apa yang akan maju, sehingga teknologi dan inovasi baru menjadi cepat terserap di lapangan.

2. KONFIGURASI SISTIM KOGNITIF

Dalam melakukan konfigurasi sistim kognitif dilakukan pen-settingan parameter pada sistim tersebut. Ada banyak pen-settingan yang bisa dilakukan, mulai dari frekuensi, lebar pita frekuensi (*bandwidth*), durasi sinyal, teknik modulasi, daya pancar (penggunaan baterai), dan sebagainya. Dalam melakukan pen-settingan ini perlu diperhatikan konsekuensinya, banyak konsekuensi positif ataupun negative.

Pen-settingan sistim tergantung dari hardware dan software yang tersedia di piranti komunikasi, juga tergantung dari standard dan regulasi yang membawahi piranti tersebut. Visi dari sistim kognitif adalah tidak adanya hambatan yang membatasi kemungkinan dan kemampuan untuk melakukan konfigurasi, kecuali konsekuensi negative yang akan muncul.

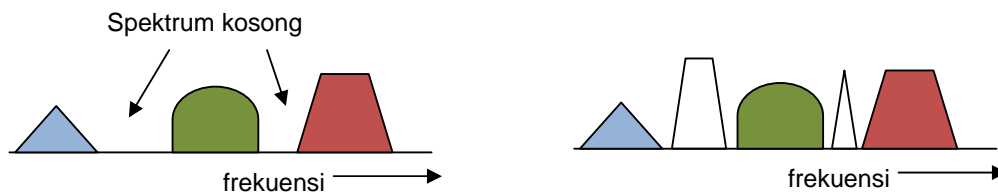
Gambar 3 menunjukkan komponen di piranti sistim radio kognitif. Dari hasil observasi dengan spectrum analyzer yang terintegrasi di dalam sistim, ditambah data-data lainnya, misalnya dari data base regulasi dan spesifikasi alat, dilakukan proses pengambilan keputusan, yang akan memicu proses pen-settingan parameter pemancaran dan penerimaan untuk melakukan komunikasi secara kognitif.



Gambar 3 Komponen sistim radio kognitif

2.1 Konfigurasi dari sudut pandang frekuensi

Komponen penerima dari sistim radio kognitif yang dilengkapi oleh spectrum analyzer harus mampu untuk bisa mendeteksi wilayah spectrum yang kosong secara akurat, di mana dan seberapa lebar. Sistim radio kognitif ini kemudian menggunakan wilayah yang kosong tersebut untuk suatu waktu tertentu, sampai ia harus kembali meninggalkannya.



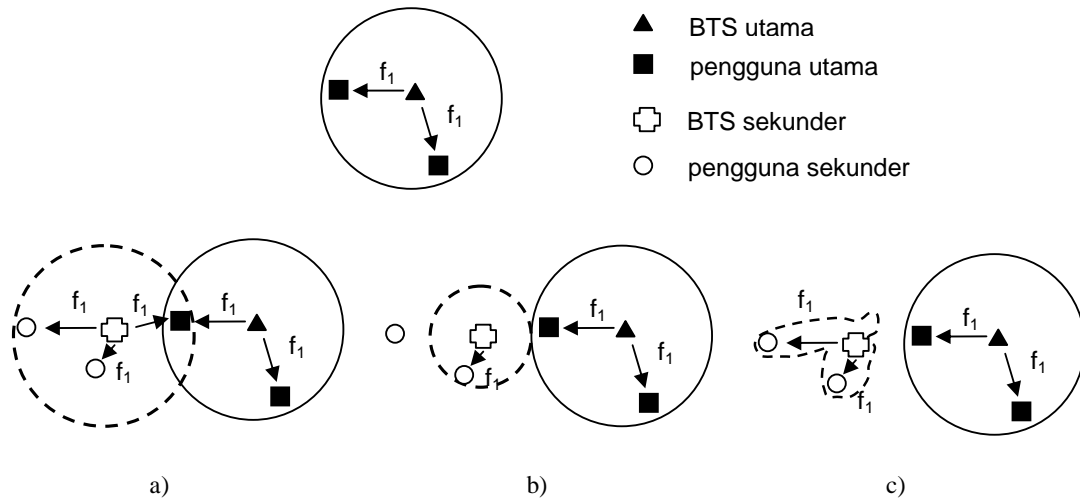
Gambar 4. Pemanfaatan spectrum yang kosong oleh sistim radio kognitif.

Untuk melakukan proses di atas, sistim radio kognitif harus didukung oleh kemampuan software dan hardware yang memadai, bagian frekuensi radio (*radio frequency*/RF) yang berupa synthesizer, filter lolos tengah yang selektif bersama dengan bagian digital yang mempunyai kemampuan prosesor yang besar dan cepat mengupayakan pemanfaatan spectrum yang kosong ini dengan interferensi yang minimal.

2.2 Konfigurasi dari sudut pandang lokasi geografis

Dalam beberapa kondisi, sangat mungkin spectrum yang bisa digunakan hanya berlaku untuk suatu wilayah atau sector arah tertentu. Gambar 5 memberikan visualisasi pada kasus ini. Kondisi awal adalah sebuah scenario, yang melibatkan pemilik asal dari spectrum, yaitu sebuah stasiun basis utama

(primary BTS), yang menyuplai pengguna utama (primary users) dengan frekuensi tertentu f_1 . Setelah dilakukan observasi dan diambil keputusan bolehnya digunakan frekuensi f_1 oleh sistem radio kognitif, maka stasiun basis sekunder (BTS secondary) akan menggunakan frekuensi ini dan berkomunikasi dengan pengguna sekunder (secondary users).



Gambar 5. Penggunaan antenna dengan beamforming khusus pada radio kognitif.

Ada tiga kasus menarik yang ditampilkan di gambar 5. Jika BTS sekunder menggunakan antenna omnidireksional, bisa jadi, untuk mensuplai pengguna sekunder yang berada relative jauh dari BTS sekunder diperlukan daya yang besar, yang akan menimbulkan interferensi pada pengguna utama yang berada di pinggir wilayah penyuplaian. Kondisi seperti ini pasti akan dihindarkan oleh sistem radio kognitif. Ada dua cara yang akan atau bisa digunakan untuk menyelesaikan masalah tersebut. Kasus b) di gambar 5 menunjukkan, dipergunakannya daya pancar yang lebih kecil dari kasus a), sehingga tidak akan terjadi interferensi di pengguna utama, tetapi ada pengguna sekunder yang akhirnya tidak bisa melakukan hubungan komunikasi, karena berada di luar jangkauan BTS sekunder.

Kasus c) di gambar 5 memberikan alternative yang sangat menarik, yaitu dengan dipergunakannya antenna yang memiliki beamforming khusus, yang dirancang secara configurable untuk setiap kasus yang muncul, sehingga semua pengguna sekunder tetap mendapatkan kesempatan untuk melakukan komunikasi.

Komponen utama pada kasus ini adalah antenna array, yang bersifat adaptif [9]. Antena adaptif, atau antena cerdas ini terdiri dari sekumpulan antena yang didukung oleh rangkaian elektronika dengan mikroprosesor.

2.3 Konfigurasi dari sudut pandang ketahanan sinyal

Pada bagian sebelumnya, ditunjukkan konfigurasi frekuensi kerja, daya pancar dan bentuk pancaran antena dari sistem radio kognitif. Selain itu diharapkan juga

sistim ini bisa mengubah bentuk modulasinya. Misalnya sistim orthogonal frequency division multiplexing (OFDM), bisa menjadi suatu pilihan utama, jika sistim komunikasi berada di lingkungan multipath.

Jenis modulasi dan ordo pemodulasian juga menentukan resistensi dari sinyal tersebut terhadap derau. Dari [2] diketahui, modulasi ordo tinggi sangat mudah untuk diganggu derau, yang akan mengakibatkan bertambahnya bit error rate (BER).

Penggunaan pengkodean saluran dengan coding rate yang rendah akan menaikkan resistensi sinyal dari gangguan, karena di dalam sinyal tersebut terdapat cukup parity yang bisa membantu piranti penerima dalam melakukan proses error detection and correction.

2.4 Konfigurasi dari sudut pandang kecepatan transfer data

Konfigurasi sistim yang akan mengubah kecepatan transfer data telah diceritakan sebahagian pada bagian 2.3. Modulasi dan koding merupakan proses yang langsung bisa menaikkan atau menurunkan kecepatan transfer data. Terjadi kompromis (trade-off) antara kecepatan transfer data dengan rentanitas sinyal dari gangguan.

Pada prakteknya, lebih sering data rate yang dikorbankan untuk mendapatkan sinyal yang lebih tahan dari gangguan dan kesalahan.

Sistim multiple input multiple output (MIMO), yang diperkenalkan oleh Foschini di tahun 1996 [10], memberikan usulan yang merupakan jalan keluar penting di akhir abad kedua puluh, untuk menaikkan data rate dari sebuah hubungan komunikasi tanpa membutuhkan spectrum frekuensi yang lebih besar. Pada sistim MIMO ini diperlukan antena yang dihubungkan dengan mikroprocessor tertentu, yang akan mengatur amplitud dan phasa dari pencatuan, sehingga bisa dihasilkan pembesaran data rate sesuai dengan jumlah antena yang digunakan.

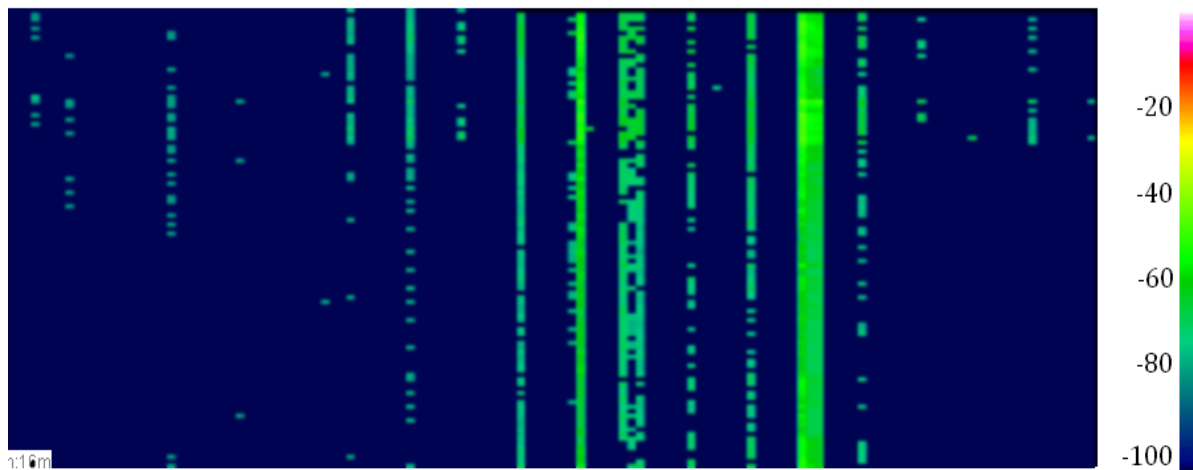
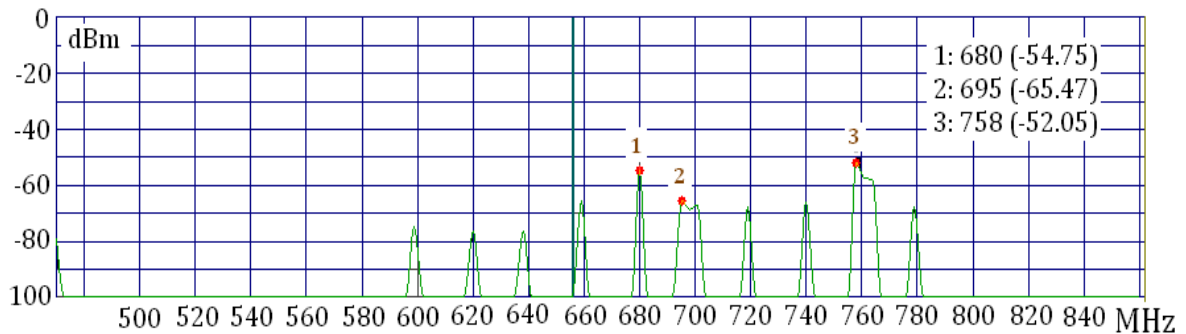
Seperti yang dilaporkan di [11], sistim MIMO akan bekerja secara efisien, jika lingkungan tempat sistim ini berada, bersifat rich scattering, yaitu kondisi dengan banyaknya refleksi dan difraksi, sehingga memungkinkan sinyal satu dengan sinyal lainnya untuk mencapai penerima melalui jalur yang beraneka ragam.

3. PENGAMATAN KONDISI

Untuk melakukan pen-settingan secara terarah terhadap parameter-parameter diperlukan masukan yang ditunjukkan di gambar 1. Informasi mengenai regulasi didapatkan dari lembaga yang berwewenang, di mana sistim radio kognitif akan digunakan, informasi mengenai kemampuan piranti radio kognitif harus diketahui dan disimpan dari produsen piranti tersebut. Dua informasi lainnya, yaitu tuntutan komunikasi dan Informasi mengenai lingkungan tempat sistim radio kognitif didapatkan dengan pengamatan berupa pengukuran dari sinyal dan karakternya. Dalam realitanya, sangat mungkin semua informasi ini bukan didapatkan secara mandiri oleh sistim radio kognitif, tetapi dapat bantuan pemberian informasi dari pihak eksternal.

Salah satu factor pemicu munculnya sistim radio kognitif adalah kebutuhan

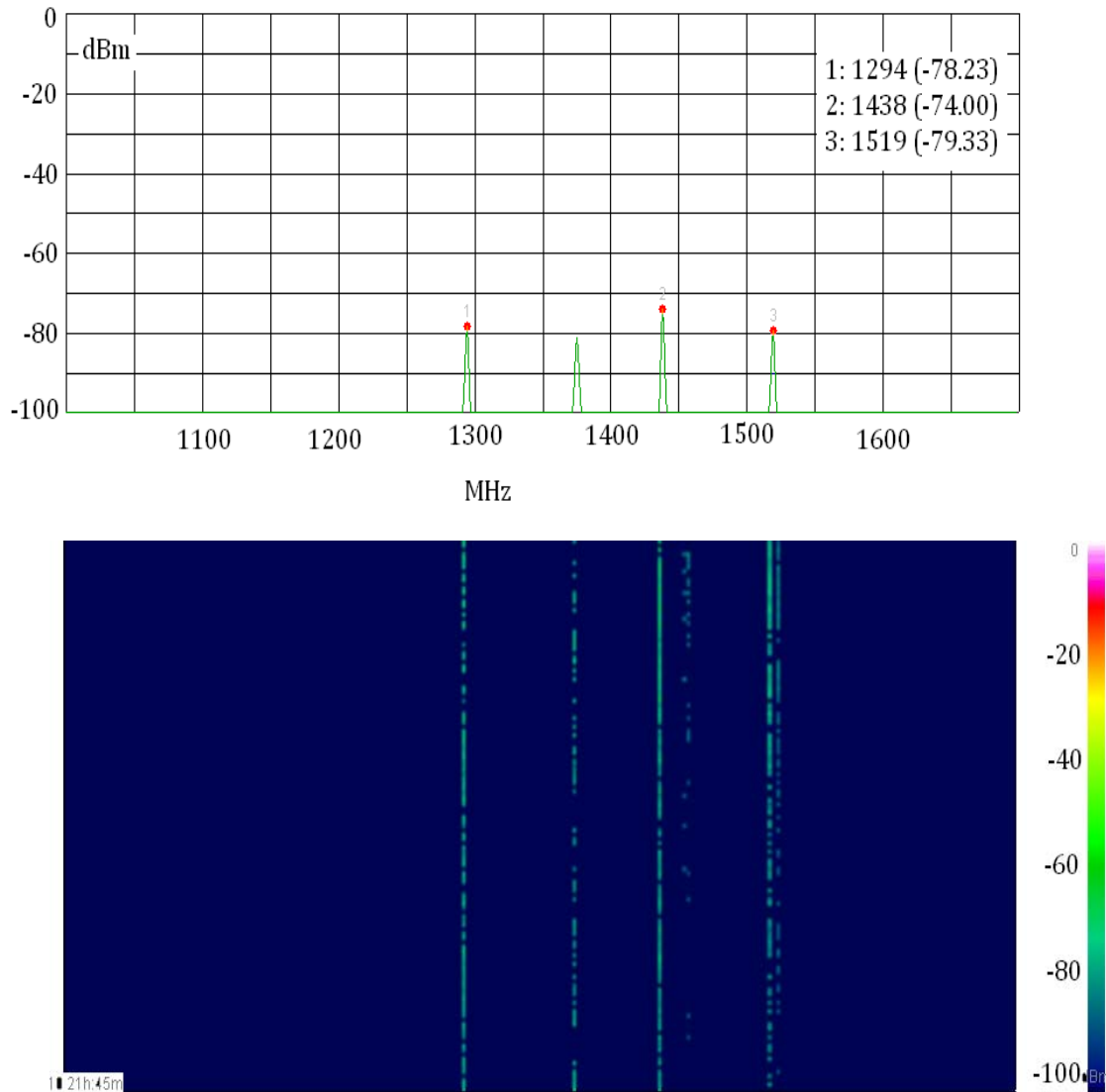
yang mendesak akan spectrum frekuensi, sebagai sumber daya dasar dari sebuah komunikasi nirkabel. Kelangkaan spectrum ini menyebabkan naiknya harga per-MHz dan terhambatnya perkembangan aplikasi-aplikasi komunikasi lainnya. Cara alokasi (*allocation*) dan penyerahan (*assignment*) spectrum yang konvensional juga menyebabkan penggunaan spectrum yang tidak efisien dan kaku. Pengukuran di lapangan pun membuktikan banyaknya wilayah-wilayah yang disebut dengan *white spot* di spectrum frekuensi. Gambar 6 dan 7 menunjukkan pengukuran yang dilakukan dengan menggunakan spectrum analyzer type Spectran HF 6060 di waktu sore hari selama satu jam. Kedua pengukuran itu dilakukan di dalam bangunan (*indoor receive*) di daerah Joglo, Jakarta Barat.



Gambar 6. Daya terima selama satu jam untuk wilayah frekuensi TV.

Di setiap interval 20 MHz dideteksi adanya sinyal yang dipancarkan oleh broadcaster.

Di frekuensi yang cukup lebar ini 700 MHz, selama satu jam proses pengukuran, hanya dideteksi empat sampai lima sinyal yang memancarkan sinyal cukup lemah. Sinyal-sinyal di atas diduga milik telemetri untuk pesawat terbang. Sinyal *Global Positioning System* (GPS) pada frekuensi 1215 MHz sampai 1240 MHz sama sekali tidak bisa dideteksi, kemungkinan karena pengukuran dilakukan di dalam ruang.



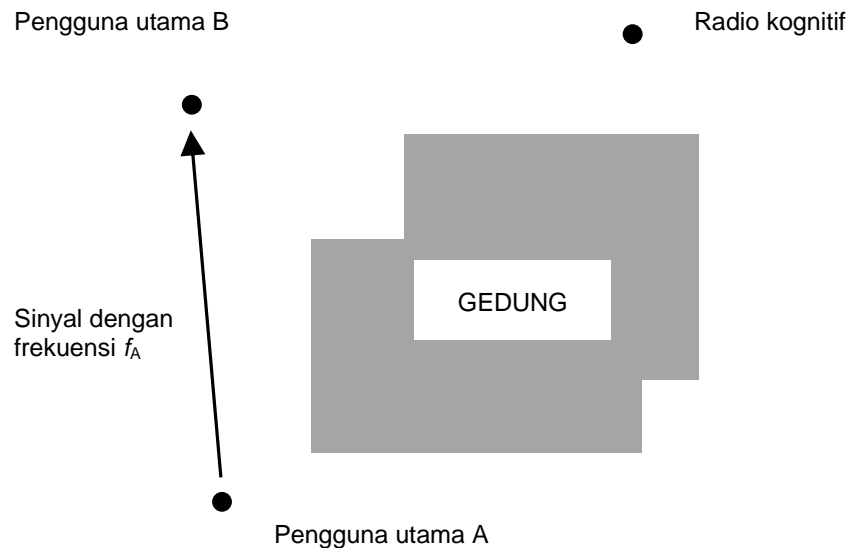
Gambar 7. Daya terima selama satu jam untuk wilayah frekuensi 1,0 GHz sampai 1,7 GHz.

Dari contoh di dua gambar di atas, dilakukan proses ‘sensing’ sinyal pada suatu posisi tertentu, jadi diamati keberadaan sinyal pada suatu interval frekuensi, dalam hal ini frekuensi UHF dan frekuensi 1 GHz .. 1,7 GHz, pada lokasi tertentu (indoor). Hal lain yang bisa dilakukan adalah dengan memutar antenna yang dipergunakan dalam pengukuran, sehingga mengetahui distribusi arah kedatangan sinyal, dan bisa dipastikan sinyal tidak datang (tidak ada) pada arah yang lainnya.

Dalam prakteknya ada dua cara untuk melakukan observasi ini: non-cooperative sensing dan cooperative sensing.

Observasi secara non-cooperative sensing seperti yang dilakukan pada gambar 6 dan 7 di atas. Radio kognitif mengamati sinyal pada sebuah interval frekuensi. Jika tidak terdeteksi sinyal sampai suatu level penerimaan tertentu, maka

dipastikan tak ada pemancar yang menggunakan frekuensi tersebut. Radio kognitif berarti boleh menggunakannya. Tetapi ada masalah yang akan muncul, yaitu yang disebut dengan *hidden node*. Fenomena ini ditunjukkan di gambar 8. Pengguna utama (*primary user*) adalah pemilik sebuah frekuensi tertentu, misalnya pengguna utama A memancarkan sinyal dengan frekuensi f_A ke pengguna utama B. Karena posisi pengguna utama A yang berada di balik bangunan, radio kognitif hanya menerima sinyal yang sangat kecil, dan sangat mungkin tak bisa terdeteksi lagi olehnya. Karena frekuensi ini dianggap kosong, maka bisa digunakan oleh sistem radio kognitif. Yang terjadi adalah diterimanya sinyal interferensi oleh pengguna utama B.



Gambar 8. Fenomena *hidden node* pada saat observasi secara non-cooperative sensing.

Pada contoh di gambar 8 di atas misalnya, jika kita menggunakan frekuensi 580 MHz, maka pesawat TV yang dinyalakan akan menerima sinyal radio kognitif, dan tak bisa sama sekali menerima dari pemancar TV.

Observasi secara cooperative sensing berlangsung jika beberapa sistem radio kognitif saling menukar informasi supaya didapatkan penggunaan spectrum yang lebih akurat. Setiap sistem radio kognitif melakukan observasi secara non-cooperative sensing, tetapi tidak serta merta menggunakan data yang masing-masing dapatkan secara individual. Dengan tukar-menukar informasi, diharapkan informasi yang tertutup bagi sebagian radio kognitif bisa didapatkan dari yang lainnya.

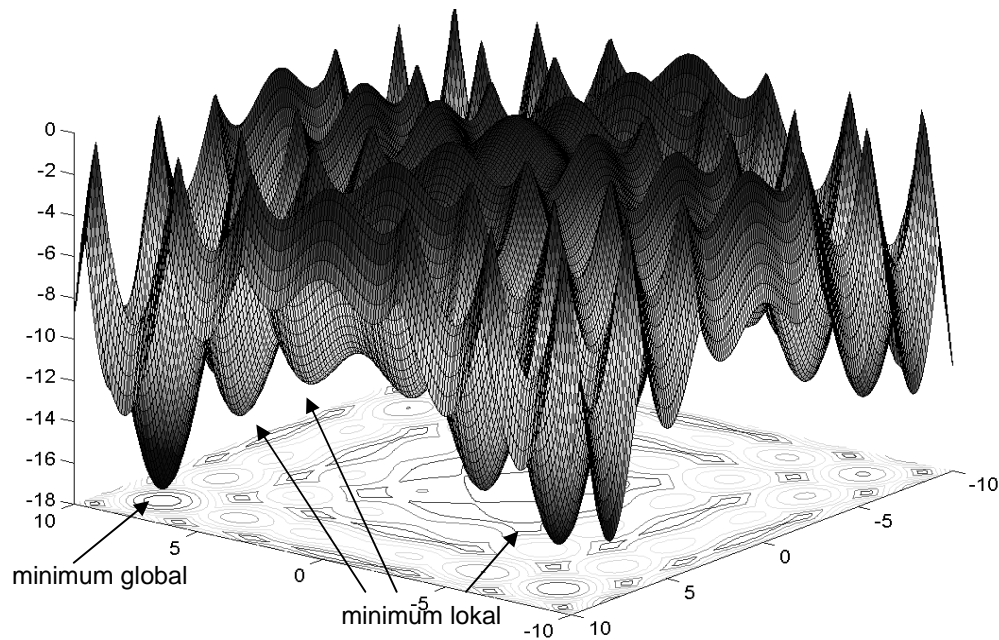
Proses cooperative sensing ini bisa tersentralisasi dengan bantuan sebuah master node, yang mengumpulkan semua informasi dari masing-masing radio kognitif, dan mengambil keputusan akan penggunaan sebuah spectrum, atau berlangsung secara terdistribusi tanpa keberadaan master node.

4. PENGAMBILAN KEPUTUSAN

Pengambilan keputusan pada sistim radio kognitif adalah proses memilih, parameter mana yang akan di-setting. Pada dasarnya yang dilakukan radio kognitif pada langkah ini ada dua hal:

- a) Sistim radio kognitif membentuk profil transmisinya dengan men-set beraneka ragam parameternya, sehingga spectrum frekuensi bisa termanfaatkan secara maksimal tanpa menimbulkan interferensi
- b) Jika terjadi perubahan pada kondisi spectrum yang ada, maka sistim radio kognitif akan kembali membentuk profil baru.

Pada sistim radio kognitif, pengambilan keputusan “siapa yang mendapatkan resource mana” adalah suatu hal yang paling fundamental. Spektrum/resource yang tidak diberikan ke suatu pengguna tertentu, yang bisa diamati dalam proses observasi, akan dibagikan oleh sistim radio kognitif. Apakah cara membaginya secara bagi rata ?, atau yang paling butuh data rate yang tinggi akan mendapatkan spectrum yang paling lebar ?. Atau manakah cara pembagian yang paling optimal, yang menjamin keadilan ?. Kondisi seperti ini mengarahkan kita pada suatu problem optimisasi [4], yang padanya suatu fungsi tertentu akan dioptimalkan.



Gambar 9. Fungsi dengan banyak minimum (local dan global). [5]

Proses optimisasi seperti halnya proses pencarian nilai maksimum atau minimum dari sebuah fungsi matematika. Proses pencarian posisi optimal ini bisa cukup mudah jika fungsi matematika-nya diberikan secara tertutup, yaitu dengan

melakukan diferensiasi dan men-set diferensiasinya menjadi nol ($f'(x) = 0$), sehingga bisa didapatkan nilai dari x . Penentuan nilai x ini bisa jadi mudah, bisa jadi cukup sulit, tetapi biasanya dengan bantuan program pencari nol (*zero finding*) bisa dicapai. Masalah mulai muncul, ketika fungsi $f(x)$ ini memiliki posisi optimal yang banyak, sehingga akan didapatkan pula solusi yang banyak pula. Terlebih lagi jika fungsi f tersebut bukan hanya bervariasi terhadap x saja, tetapi merupakan fungsi dari variable atau parameter lainnya $f = f(x_1, x_2, \dots)$.

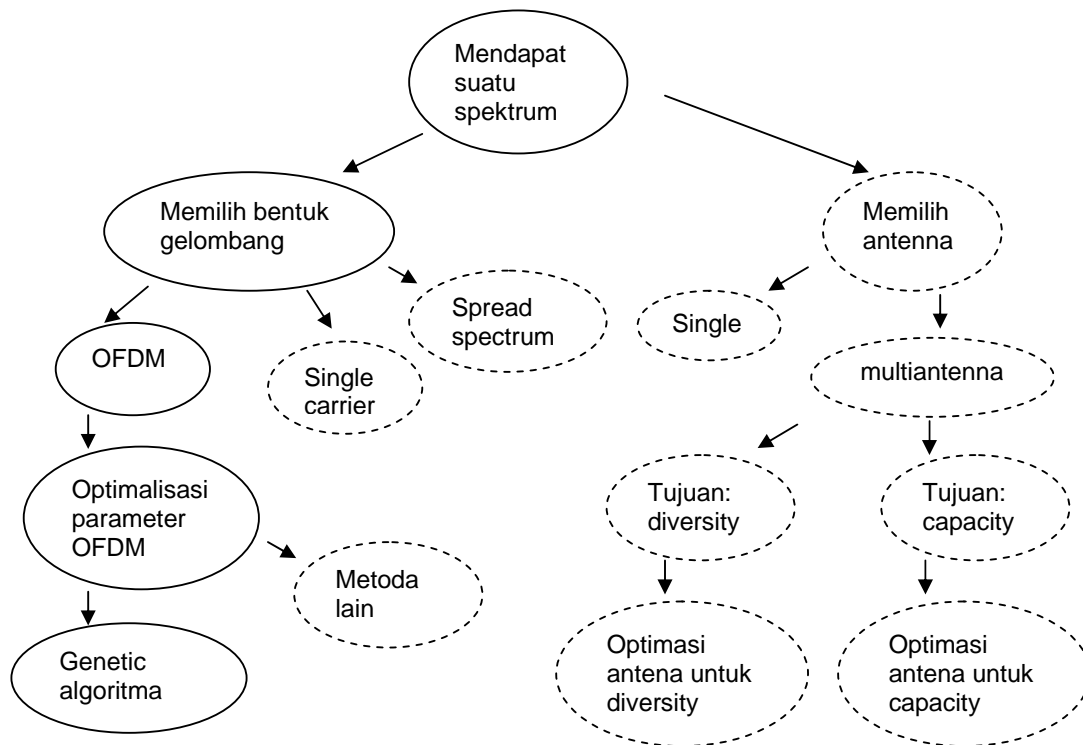
Fungsi f di dalam radio kognitif adalah suatu sasaran yang akan didapatkan, misalnya memaksimalkan data rate, atau meminimalisir interferensi, dan lain sebagainya. Secara umum fungsi ini, yang disebut fungsi objektif, bisa memiliki beberapa tujuan.

Sedangkan variable atau parameter, adalah segala sesuatu yang bisa diubah-ubah untuk mendapatkan nilai optimal tersebut. Pada sistim radio kognitif tergantung dari fitur yang disediakan, bisa frekuensi, artinya radio kognitif bisa memvariasikan frekuensinya seperti yang diinginkan pada bagian terdahulu, daya pancar, teknik modulasi beserta ordonya, coding rate, diagram radiasi antena, dan lain sebagainya. Semakin banyak jumlah parameter ini maka derajat kebebasan (*degree of freedom*) yang dimiliki semakin besar, wilayah pencarian (*search space*) menjadi semakin lebar, yang akan berakibat pada semakin sulitnya proses optimasi ini.

Target pada proses optimasi ini adalah mencari yang terbaik. Masalahnya adalah, seperti yang ditampilkan di gambar 9, ada banyak sekali hasil yang baik (optimal lokal, dalam hal ini minimum lokal). Metoda optimasi yang ada sering kali 'terjebak' mendapatkan hasil yang baik ini, dan bukan yang terbaik. Metoda optimasi yang seperti ini biasanya berbasiskan pada metoda gradient, yaitu selalu mencari yang lebih baik dalam setiap langkahnya, sehingga hanya mau turun. Metoda yang dianggap lebih baik adalah metoda optimasi global, misalnya genetic algorithms [6, 7], simulated annealing [8], dan sebagainya. Metoda ini adalah metoda metaheuristic, yang bisa memberikan hasil yang lebih baik, tetapi tidak ada jaminan bahwa itu memang yang terbaik. Walaupun pernyataan seperti itu tidaklah menyenangkan, tetapi kelebihan dari metoda ini, dalam prosesnya akan dicari wilayah yang sebelumnya tidak diamati, karena metoda heuristic ini bekerja secara random.

Gambar 10 menunjukkan proses lebih rincinya dalam sebuah pengambilan keputusan pen-settingan parameter pada sistim radio kognitif.

Tahap pertama adalah dipicunya proses pengambilan keputusan, karena sistim radio kognitif baru dinyalakan atau telah terjadi perubahan kondisi lingkungan (misalnya pengguna utama kembali). Perubahan kondisi lingkungan spectrum ini akan memicu proses pembentukan kembali sinyal pada sistim radio kognitif, yang di gambar 10 dibagi menjadi dua proses yang lebih kecil, yaitu pemilihan bentuk gelombang dan pemilihan antena. Tentunya ada banyak sekali proses yang harus diamati, di sini hanya ditunjukkan dua saja.



Gambar 10. Proses pengambilan keputusan di radio [3].

Proses pemilihan bentuk sinyal mengarah pada pemilihan antara OFDM, single carrier, ataupun spread spectrum. Jika keputusan berupa pada penggunaan OFDM, maka dilanjutkan dengan proses optimasi parameter yang akan digunakan dalam OFDM itu sendiri, misalnya ukuran fast fourier transform (FFT) yang digunakan, teknik modulasi, detail dari cyclic prefix, dan sebagainya.

Demikian juga pada bagian penggunaan antenna.

5. PENUTUP

Sistim radio kognitif yang dibahas di tulisan ini, merupakan suatu peluang yang diusulkan untuk mengoptimalkan penggunaan spectrum tanpa harus menimbulkan interferensi secara berarti. Prinsip dasar dari sistim radio kognitif adalah, pengamatan lingkungan radio, yang ditandai dengan diidentifikasinya spectrum-spectrum yang tak terpakai. Hal penting di sini adalah diketahui kapan dan di mana pemilik utama dari spectrum tersebut tidak memakai frekuensi ini. Langkah berikutnya adalah dengan melakukan pengambilan keputusan, parameter manakah yang harus di-set pada sistim radio kognitif, sehingga memanfaatkan spectrum dari bisa efisien tanpa munculnya interferensi yang berarti. Parameter yang bisa di-set meliputi frekuensi kerja, jenis modulasi, diagram radiasi antenna, coding rate, etc.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Mitola, and G. Maguire, Cognitive radio: Making software radios more personal, *IEEE Personal Communications*, 1999, vol. 37, no.10, pp. 13–18.
- [2] F. Xiong, *Digital modulation techniques*, 2nd ed., Artech House, Boston, 2006.
- [3] L. Doyle, *Essentials of Cognitive Radio*, Cambridge University Press, Cambridge, 2009.
- [4] S. S. Rao, *Engineering Optimization*, 3rd ed., Wiley, New Jersey, 1996
- [5] M. Alaydrus, Planar antenna design controlled by simulated annealing, *Frequenz*, vol. 63, no. 7-8, 2009, pp. 139-143.
- [6] D. E. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley, New York, 1989.
- [7] R. L. Haupt, and D. H. Werner, *Genetic Algorithm in Electromagnetics*, Wiley, New Jersey, 2007.
- [8] P. J. M. van Laarhoven, and E. H. L. Aarst, *Simulated Annealing: Theory and Applications*, Springer, Netherland, 2009.
- [9] M. Alaydrus, Coupling Effects between Antenna Elements on the Performance of a Smart Antenna System, *International Conference on Instrumentation, Communications and Information Technology (ICICI)*, Bandung, August 2005.
- [10] G. J. Foschini, "Layered space–time architecture for wireless communication in a fading environment when using multiple antennas," *Bell Labs Syst. Tech. J.*, vol. 1, p. 41–59, Autumn 1996.
- [11] Alaydrus, M., Calculation of MIMO Capacity in Complex Environments, *The 9th International Conference Quality in Research (QIR)*, UI, Depok, September 2006