

JARINGAN RADIO KOGNITIF SEBAGAI SOLUSI OPTIMALISASI PENGUNAAN SPEKTRUM FREKUENSI RADIO

Iman Sanjaya¹ dan Azwar Aziz²

¹Calon Peneliti dan ²Peneliti Madya

Puslitbang Sumber Daya dan Perangkat Pos dan Informatika
Jln. Medan Merdeka Barat No.9 Jakarta 10110 Telp./Fax. 021-34833640
e-mail : ¹iman.sanjaya@kominfo.go.id, ²azwar.aziz@kominfo.go.id
Diterima: 3 Januari 2011; Disetujui: 9 Februari 2011

ABSTRACT

The rapid proliferation of wireless technologies is expected to increase the demand for radio spectrum by orders of magnitude over the next decade. This problem must be addressed via technology and regulatory innovations for significant improvements in spectrum efficiency. Emerging cognitive radio technology has been identified as a promising technology that will play a strong role in the future communication system. This study has a specific goal, namely to identify the main vision of cognitive radio network technology and related research opportunities.

Keywords : *cognitive radio network, spectrum sensing, radio spectrum, license*

ABSTRAK

Teknologi telekomunikasi nirkabel berkembang demikian pesatnya dan diperkirakan akan meningkatkan kebutuhan akan spektrum radio dalam beberapa dekade mendatang. Solusi dari permasalahan ini harus diatasi melalui teknologi dan regulasi yang mendukung efisiensi dalam penggunaan spektrum. Jaringan radio kognitif diidentifikasi sebagai suatu teknologi yang menjanjikan harapan tersebut dan akan memainkan peranan penting untuk sistem komunikasi di masa mendatang. Studi ini bertujuan untuk mengidentifikasi konsep utama dari teknologi jaringan radio kognitif tersebut, serta peluang-peluang penelitian yang bisa dikembangkan terkait dengan teknologi tersebut.

Kata Kunci: *jaringan radio kognitif, penginderaan spektrum, spektrum radio, lisensi*



PENDAHULUAN

Spektrum frekuensi radio sebagai salah satu media transmisi telekomunikasi dapat digolongkan sebagai cabang produksi yang penting bagi negara dan menguasai hajat hidup orang banyak. Selain itu, spektrum frekuensi radio juga merupakan sumber daya ekonomi untuk kepentingan masyarakat umum yang jumlahnya relatif terbatas, sehingga pemanfaatan spektrum frekuensi radio harus diatur secara efektif dan efisien, sehingga manfaatnya dapat dinikmati sebesar-besarnya untuk kesejahteraan rakyat. Spektrum frekuensi radio sebagai sumber daya alam terbatas/langka, pemanfaatannya bersifat eksklusif, artinya ketika suatu pita spektrum frekuensi telah diduduki untuk penyelenggaraan suatu layanan tertentu, maka pita spektrum frekuensi tersebut tidak dapat digunakan oleh pihak lain dalam radius pancaran yang sama sesuai dengan karakteristik yang melekat padanya. Akibatnya, jika suatu spektrum telah diduduki, maka anggota masyarakat lainnya telah kehilangan peluang untuk menggunakannya.

Undang-Undang Nomor 36 tahun 1999 tentang Telekomunikasi pasal 4 ayat (1) menyatakan bahwa telekomunikasi dikuasai oleh negara dan pembinaannya dillakukan oleh Pemerintah. Oleh karena itu sumber daya alam

tersebut perlu dikelola dan diatur pembinaannya guna memperoleh manfaat yang optimal dengan memperhatikan kaidah hukum nasional maupun internasional seperti konstitusi dan konvensi *International Telecommunication Union* (ITU). Dalam rangka pengaturan pengelolaan dan pembinaan sumber daya alam dimaksud, telah diatur pada Peraturan Pemerintah Nomor 53 Tahun 2000 tentang Penggunaan Spektrum Frekuensi Radio dan Orbit Satelit. Adapun definisi spektrum frekuensi radio dalam peraturan tersebut adalah kumpulan pita frekuensi radio. Pita frekuensi radio merupakan bagian dari spektrum frekuensi radio yang mempunyai lebar tertentu. Berdasarkan konvensi internasional, spektrum frekuensi radio memiliki rentang antara 30 KHz sampai dengan 300 GHz. Namun demikian, yang diautr oleh ITU adalah rentang frekuensi dari 9 KHz sampai dengan 275 GHz.

Regulator di berbagai negara menemukan permasalahan inefisiensi dalam penggunaan spektrum frekuensi radio, contohnya adalah jaringan seluler yang dinilai *overload* hampir di semua negara, sedangkan hal sebaliknya terjadi pada radio amatir dan *paging*. Hasil penelitian independen menyimpulkan bahwa penggunaan spektrum sangat bergantung pada waktu dan tempat. Selain itu, seiring dengan kemajuan



teknologi, misalnya pada teknologi komunikasi bergerak di masa mendatang yang memungkinkan transfer data berukuran besar secara cepat dengan cara yang efisien, oleh karenanya membutuhkan *bandwidth* yang lebih lebar dibandingkan teknologi konvensional. Masalahnya adalah tidak adanya *band* (pita) frekuensi yang cukup untuk peruntukan sistem komunikasi yang baru tersebut, sehingga diperlukan suatu metode baru dalam hal peruntukan frekuensi. Spektrum frekuensi dapat dikelola secara efektif dan efisien antara lain melalui perencanaan penggunaan spektrum frekuensi yang bersifat dinamis dan adaptif terhadap kebutuhan masyarakat dan perkembangan teknologi, salah satunya dengan menggunakan teknologi jaringan radio kognitif (*cognitive radio network*). Penelitian ini bertujuan untuk memaparkan konsep dari jaringan radio kognitif sehingga membuka peluang untuk penelitian yang lebih mendalam, dengan menekankan beberapa aspek kunci serta tantangan yang muncul dalam jaringan radio kognitif.

Gambaran Umum Penggunaan Frekuensi Di Indonesia

Penggunaan pita frekuensi menurut *service* menunjukkan adanya peningkatan dalam penggunaan terutama terjadi pada penggunaan

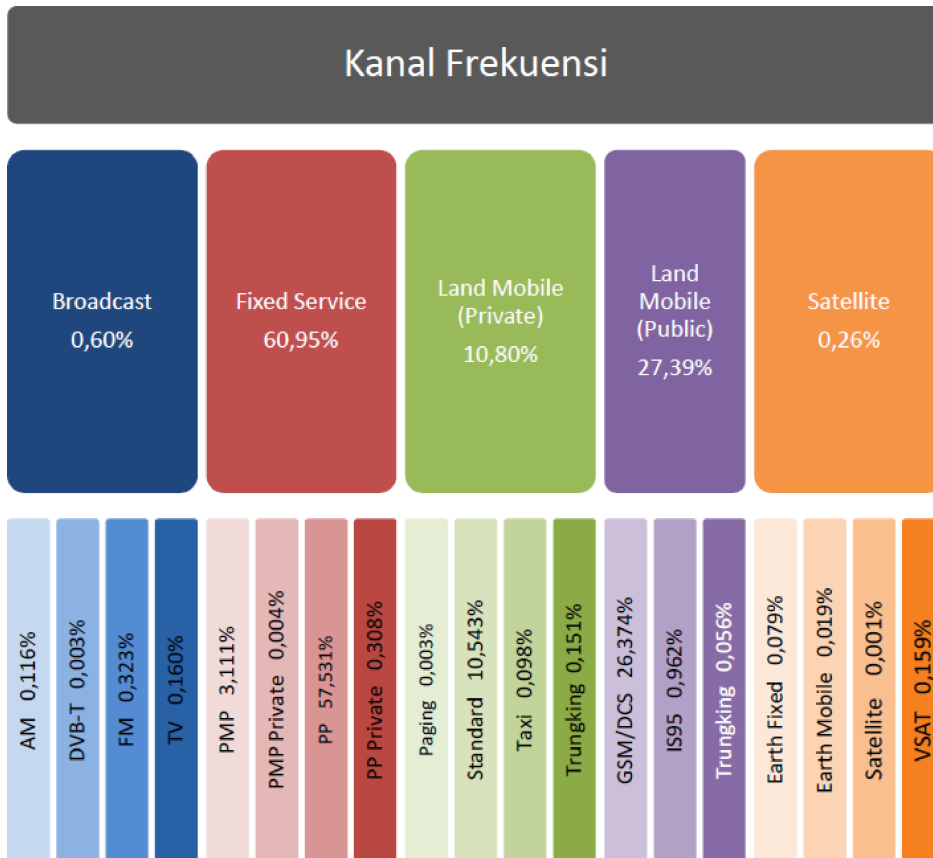
frekuensi untuk jenis *fixed service* dan *land mobile (public)*. Penggunaan untuk *fixed service* sudah meningkat sebesar 8,6 % dibanding penggunaan tahun sebelumnya, sementara peningkatan penggunaan *land mobile (public)* sudah mencapai 7,6 %. Beberapa jenis *service* lain penggunaannya sampai dengan pertengahan tahun 2010 masih lebih rendah dibanding penggunaan tahun 2009 seperti *aeronautical*, *land mobile (private)* dan maritim. Bahkan penggunaan untuk *aeronautical* lebih rendah 43,4 % dibanding tahun sebelumnya. Namun diperkirakan penggunaan untuk beberapa jenis *service* tersebut masih akan meningkat sehingga akan lebih tinggi dibanding penggunaan tahun sebelumnya.

Perkembangan komposisi penggunaan frekuensi menurut *service* menunjukkan bahwa penggunaan frekuensi menurut *service* masih didominasi oleh penggunaan untuk jenis *fixed service*. Proporsi penggunaan jenis *service fixed* telepon sampai semester I tahun 2010 ini mencapai 60,2 % dari total penggunaan. Proporsi ini lebih tinggi dibanding penggunaan tahun sebelumnya yang berkisar antara 56 % sampai 58 %. Peningkatan proporsi penggunaan *fixed service* ini sejalan dengan peningkatan penggunaannya yang cukup besar pada tahun 2010 dibandingkan jenis *service land mobile (public)* dan *land mobile (private)* yaitu masing-masing sebesar 27,1 % dan

10,6 %. Sementara untuk jenis *service* lain proporsi penggunaannya masih rendah karena penggunaannya juga relatif kecil jika dibanding ketiga jenis *service* frekuensi tersebut.

Jika dilihat lebih rinci penggunaan frekuensi sampai dengan penggunaan untuk masing-masing *subservice* menunjukkan bahwa penggunaan untuk *fixed service* memang jauh lebih besar dibanding penggunaan untuk *subservice* lainnya. Di antara

penggunaan untuk *fixed service*, penggunaan terbesar untuk *subservice*-nya adalah untuk *subservice* PP. Proporsi penggunaan *subservice* PP ini mencapai 57,5 % dari total penggunaan seluruh *subservice* frekuensi. Sementara proporsi penggunaan untuk *subservice* lain pada *fixed service* ini jauh lebih kecil dibanding proporsi penggunaan untuk *subservice* PP. Proporsi penggu-



Gambar 1. Komposisi Penggunaan Frekuensi menurut *service* dan *subservice* Tahun 2010 (Kemkominfo, 2010)



naan *subservice* PMP misalnya hanya 3,11% dari total penggunaan *subservice*.

Penggunaan *subservice* ini yang cukup tinggi juga justru terjadi pada kelompok *service land mobile (public)* yaitu untuk jenis *subservice* GSM/DCS dan pada kelompok *service land mobile (private)* yaitu untuk *subservice standard*. Proporsi penggunaan untuk *subservice* GSM/DCS mencapai 26,4 % dari total penggunaan frekuensi menurut *subservice*. Sementara proporsi penggunaan untuk jenis *subservice standard* mencapai 10,5 % .

Penggunaan *subservice* GSM/DCS yang tinggi ini sejalan dengan semakin berkembangnya industri telekomunikasi seluler dengan semakin banyaknya operator dan jangkauan oleh masing-masing operator sehingga semakin banyak menara pemancar (BTS) yang didirikan. Namun proporsi penggunaan frekuensi untuk *subservice* lainnya kurang dari 1% kecuali untuk penggunaan *service* frekuensi PMP. Proporsi penggunaan untuk jenis *subservice* ini mencapai 3,1% dari total penggunaan. Penggunaan paling rendah adalah untuk satelit yang proporsinya hanya 0,002 % dari total penggunaan frekuensi menurut *subservice*.

Berbagai langkah kebijakan telah atau bisa diambil Pemerintah, dalam hal ini Direktorat Jenderal Sumber Daya dan Perangkat Pos dan Informatika Kemenkominfo untuk mendorong

optimalisasi penggunaan spektrum frekuensi, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. Menetapkan kebijakan BHP frekuensi berdasarkan lebar pita

Regulasi ini sebagai pengganti pola perhitungan penggunaan frekuensi berbasis Izin Stasiun Radio (ISR) yang dianggap memberatkan industri serta memicu tidak optimalnya pemanfaatan sumber daya frekuensi yang terbatas. BHP berdasarkan ISR adalah besaran pungutan tergantung kepada jumlah pemancar stasiun radio, sedangkan BHP berbasis pita adalah penarikan biaya frekuensi berdasarkan lebar pita (*bandwidth*). Pola pungutan ini berlaku bagi operator seluler dan *Fixed Wireless Access* (FWA). Ke depan juga akan berlaku bagi pengguna frekuensi lainnya yang menggunakan secara eksklusif dan memiliki nilai strategis seperti penyiaran dan TV digital, Kehadiran BHP pita akan memudahkan operator dalam menambah *base transceiver station* (BTS) karena tidak perlu lagi mengeluarkan dana setiap penambahan satu *site*. Hal ini juga mendorong ekspansi karena operator akan rugi bila menguasai frekuensi besar tetapi tidak membangun mengingat pungutan yang dikenakan sama. Cara penghitungan dari BHP pita untuk setiap operator adalah dengan menjadikan pungutan frekuensi selama 2009 sebagai



referensi ditambah dengan harga dasar frekuensi 3G (Rp 160 miliar). Setelah angkanya didapat, akan ada penambahan dengan melihat index konsumen dan populasi yang diasumsikan naik sebesar dua persen setiap tahun. Sedangkan bagi pemilik frekuensi 900 Mhz ada beberapa tambahan mengingat alokasi yang dimiliki lebih strategis. Tetapi besaran BHP pita secara ideal itu baru terjadi lima tahun ke depan. Selama lima tahun ini ada masa transisi yang dilakukan mengingat belum semua operator menjangkau area nasional. Dalam masa transisi ini operator membayar secara *gradual* setiap tahunnya agar mencapai angka ideal sesuai rumusan BHP pita. Misal, untuk pembayaran 2010 rumusannya BHP 2009 + 20% (BHP 2014 - BHP 2009). Sedangkan untuk tahun 2011 besaran berubah menjadi 40 persen, 60 persen (2012), dan 80 persen (2013). Perhitungan BHP berdasarkan lebar pita akan dievaluasi per tahun sesuai dengan perubahan nilai tukar rupiah dan hitungan ekonomis lainnya, termasuk zonasi.

2. Refarming Frekuensi

Berdasarkan tabel alokasi frekuensi dari Ditjen Sumber Daya Perangkat Pos dan Informatika, pita spektrum yang sudah dibagikan kepada pemain industri *mobile* adalah 270 MHz untuk layanan berbasis GSM, 45 MHz *band* berbasis CDMA, dan 190 MHz untuk

teknologi WiMax. Indosat group ternyata telah mendominasi penguasaan spektrum di Indonesia. Sejak tahun 1990-an, Indosat sudah mengantongi 82.5 MHz lisensi spektrum di *band* frekuensi 850/900/1800/2100 MHz. Di band 3.3 GHz dan 2,3 GHz melalui dua anak usaha (Lintasarta dan IM2) masing-masing 12.5 MHz. Indosat group juga menguasai band 10 GHz dan *band* spektrum untuk komunikasi satelit. Untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas penggunaan spektrum melalui *refarming*, audit spektrum perlu dilakukan secepatnya. Sebelum mengaudit spektrum yang dikuasai pemain industri *broadcasting*, prioritas utama yang dapat dilakukan segera adalah audit spektrum pada *band-band* spektrum yang belum dipergunakan oleh pemain industri telekomunikasi. *Refarming* memerlukan pendekatan melalui jangka waktu penggunaan. Untuk beberapa spektrum dilakukan pendekatan internasional, biasanya frekuensi digunakan setelah 10 hingga 20 tahun. Namun untuk *mobile data* bisa lebih cepat, dalam waktu lima tahun sudah dilakukan *recycle*.

3. Migrasi ke TV Digital

Dengan teknologi TV Digital penggunaan spektrum frekuensi TV tersebut bisa lebih optimal. Jika dengan teknologi TV Analog, satu spektrum frekuensi hanya bisa diduduki oleh satu kanal siaran, dengan teknologi



TV Digital bisa digunakan oleh 4-6 kanal siaran secara bersamaan, bahkan teknologi ini akan berkembang menjadi 15 kanal siaran setiap spektrum. Tentu ini sangat menguntungkan, mengingat jumlah kebutuhan kanal siaran TV terus bertambah.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian deskriptif, yaitu metode penelitian yang berusaha menggambarkan dan menginterpretasikan objek sesuai dengan apa adanya. Penelitian deskriptif pada umumnya dilakukan dengan tujuan utama, yaitu menggambarkan secara sistematis fakta dan karakteristik objek atau subjek yang diteliti secara tepat. Adapun langkah konkritnya adalah dengan melakukan studi pustaka (*literature review*) sebagai salah satu dari penerapan metode penelitian yang akan dilakukan, baik dengan mencari data melalui internet, literatur, atau media massa, untuk mendapatkan data terkait. Manfaat dari studi pustaka ini antara lain:

1. Mengidentifikasi kesenjangan (*identify gaps*) dari penelitian ini.
2. Menghindari membuat ulang (*re-inventing the wheel*) sehingga banyak menghemat waktu dan juga menghindari kesalahan kesalahan yang pernah dilakukan oleh orang lain.
3. Mengidentifikasi metode yang

pernah dilakukan dan yang relevan terhadap penelitian ini.

4. Meneruskan apa yang penelitian sebelumnya telah capai sehingga dengan adanya studi pustaka ini, penelitian yang akan dilakukan dapat dibangun di atas *platform* dari pengetahuan atau ide yang sudah ada.
5. Untuk mengetahui orang lain yang spesialis dan mengerjakan di area penelitian yang sama, sehingga dapat terjaring dalam komunitas yang dapat memberi kontribusi sumber daya yang berharga.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sejarah dan Definisi

Jaringan radio kognitif merupakan radio atau sistem yang mampu melakukan penginderaan terhadap lingkungan operasionalnya dan dapat secara dinamis menyesuaikan parameter operasional radio secara tepat dengan mengkolaborasikan jaringan kabel dan nirkabel. Parameter-parameter tersebut dapat berupa spektrum frekuensi radio, perilaku permintaan pengguna dan kondisi jaringan. Dalam bahasa yang sederhana, jaringan radio kognitif adalah jaringan radio yang sangat cerdas. Ide awal mengenai cognitive radio dilontarkan pertama kali oleh Joseph Mitola III pada saat seminar di KTH, *The Royal Institute of Technology*, pada tahun 1998. Sifat adaptif yang dimiliki oleh



jaringan radio kognitif dapat diserupakan dengan skema modulasi adaptif yang dimiliki Wimax. Pada teknologi Wimax, pada saat pengguna berada di dekat posisi *base station*, kepada pengguna tersebut akan diberikan skema modulasi orde tinggi yang mempersyaratkan sinyal yang bagus. Sebaliknya, pada saat pengguna menjauh dari *base station* maka sinyalnya melemah, oleh karenanya untuk mempertahankan kualitas kondisi dan kestabilan sambungan, skema modulasi diturunkan ke orde yang lebih rendah. Panggilan telepon pertama dengan menggunakan jaringan radio kognitif telah berhasil dilakukan pada tanggal 11 Januari 2010 bertempat di *Centre of Wireless Communication, University of Oulu*, dengan menggunakan jaringan CRAMNET (*Cognitive Radio Asssited Mobile Ad hoc Network*).

Konsep Manajemen Spektrum Dinamis

Manajemen spektrum berkaitan erat dengan proses pengorganisasian bagaimana spektrum digunakan dan oleh siapa. Tujuan utama dari manajemen spektrum adalah untuk memaksimalkan nilai-nilai yang diperoleh masyarakat dari spektrum frekuensi radio dengan seefisien mungkin pengguna dengan tetap menjamin tidak adanya interferensi yang merugikan di antara pengguna. Saat ini, pendekatan yang diadopsi

oleh mayoritas pengelola spektrum di seluruh dunia adalah dengan menggunakan pendekatan administratif (terkadang dikenal juga dengan sebutan pendekatan *command and control*). Pendekatan administratif adalah suatu pendekatan dimana regulator memutuskan penggunaan suatu rentang frekuensi (*frequency band*) dengan menspesifikasikan layanan yang digelar, teknologi yang diizinkan, dan siapa yang menggunakannya. Keseluruhan spektrum radio dibagi kedalam blok/band frekuensi yang diperuntukkan bagi layanan tertentu melalui suatu proses alokasi frekuensi. Alokasi frekuensi dilakukan berbasiskan nasional atau internasional. ITU menetapkan pedoman alokasi frekuensi, kemudian regulator di masing-masing negara dengan mengacu pedoman tersebut menetapkan kebijakan yang lebih rinci dalam bentuk *allotment* dan *assignment* (penetapan). Melalui pendekatan ini masalah interferensi dapat dikontrol dengan baik. Dalam praktiknya digunakan *guard band* yaitu pita frekuensi yang sengaja dibiarkan kosong untuk layanan yang saling berdampingan agar tidak saling mengganggu. Setelah proses alokasi, dilanjutkan dengan proses penetapan yang merupakan pembagian akhir dari spektrum. Berbagai mekanisme penetapan bisa dilakukan tergantung dari permintaan spektrum. Untuk permintaan rendah mungkin diberlakukan mekanisme *first come first served*,



sebaliknya jika permintaan pita spektrum tinggi, seperti pita 3G misalnya, bisa diberlakukan lelang atau *beauty contest*.

Pelelangan (*auctions*) dapat memberikan kontribusi yang sangat signifikan terhadap penerimaan pemerintah karena alokasi spektrum frekuensi radio akan dilelang pada tingkat yang paling tinggi. Pemenang lelang adalah pembayar tertinggi dan selanjutnya pemerintah tidak mempunyai hak apapun atas spektrum frekuensi radio tersebut. Kecuali apabila diperlukan di masa mendatang, pemerintah dapat membeli kembali dengan harga yang sesuai. Hal ini menjadikan proses lelang merupakan proses yang sangat sederhana, tetapi hanya dapat diterapkan pada kondisi yang sudah mapan dengan tingkat penegakan dan kepastian hukum yang tinggi. Proses lelang dapat diaplikasikan secara luwes dengan disusun kerangka aturan untuk mencapai tujuan-tujuan tertentu yang diharapkan. Misalnya, apabila terdapat pemain baru yang akan diprioritaskan untuk mendapatkan izin operasi, maka izin yang dimaksud dapat dicadangkan terlebih dahulu. Hal ini dilakukan dengan menetapkan pembatasan bahwa terdapat izin yang secara khusus akan diberikan kepada pendatang baru. Namun demikian proses ini mengandung beberapa kelemahan terutama dipandang dari sisi efisiensi,

dampak terhadap kompetisi dan implikasi sosial pada tahapan selanjutnya terutama masalah kompensasi jika terdapat masalah pada pengambilan kembali oleh pemerintah.

Seleksi komparatif (*beauty contest*) dimulai dengan tahapan dimana pemerintah mengundang pihak-pihak yang berminat untuk berpartisipasi dalam proses perizinan berdasarkan kriteria-kriteria yang telah ditentukan. Selanjutnya izin akan diberikan kepada peserta dengan penilaian terbaik dari pemerintah dalam memenuhi persyaratan tersebut. Pertimbangan-pertimbangan atas pendekatan *beauty contest* ini terutama menyangkut penilaian dan uji laik atas perencanaan masing-masing peserta. Pada kondisi ini pemerintah yang didukung oleh para ahli dituntut untuk memberikan penilaian dan menguji secara obyektif berbagai alternatif proposal yang diajukan oleh masing-masing peserta dan menentukan beberapa diantaranya sebagai yang terbaik sekaligus sebagai pemenang. Kelemahan dari proses ini adalah diantaranya dalam hal ketentuan penilaian dan efisiensi. Penyimpangan dapat terjadi dimana tim penilai dari pemerintah memberikan keuntungan dari peserta tertentu. Di sisi lain persyaratan yang ditentukan oleh pemerintah dapat menjadi kendala karena masing-masing peserta harus mampu

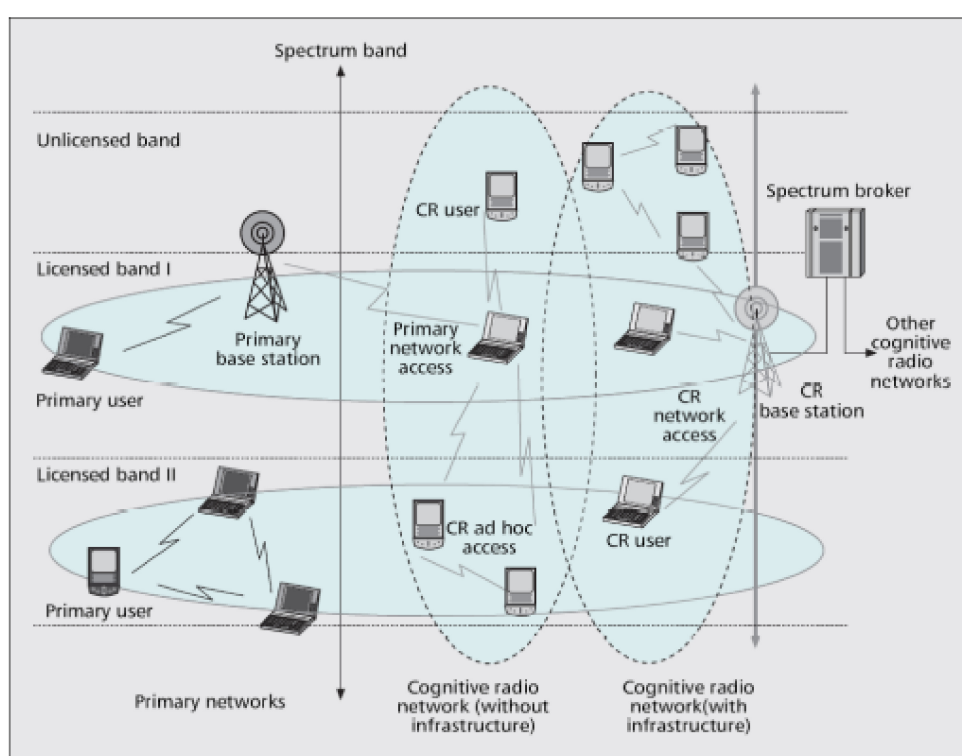


meyediakan permodalan yang besar dan didukung perencanaan yang matang, antara lain aspek teknis yang meliputi jaminan atas reliabilitas, akses, kualitas layanan dan lain sebagainya.

Namun demikian, pendekatan administratif tersebut memiliki beberapa kekurangan. Perencanaan frekuensi yang meliputi pengalokasian spektrum frekuensi untuk suatu layanan tertentu dan kemudian menetapkan perangkat terkait yang diizinkan untuk beroperasi merupakan suatu proses yang memakan waktu dan tidak cocok untuk mengantisipasi perkembangan teknologi. Permasalahan lain adalah berdasarkan hasil penelitian, meskipun suatu pita frekuensi telah dialokasikan untuk layanan tertentu namun tidak semuanya digunakan secara penuh. Oleh karena itulah diperlukan suatu mekanisme dan rezim manajemen spektrum yang baru. Salah satunya adalah rezim akses spektrum dinamis (*dynamic spectrum access*). Esensi dari spektrum dinamis adalah kebalikan dari spektrum statis, yaitu pengguna spektrum dapat menggunakan spektrum manapun yang tidak digunakan (sering digunakan istilah *white space*) secara bebas. Pendekatan dinamis berpotensi untuk mendayagunakan secara optimal sumber daya frekuensi yang terbuang percuma. Pendekatan ini juga sekaligus membuka hambatan

masuk (*barriers to entry*) bagi pelaku usaha baru karena tersedianya spektrum yang lebih banyak. Dengan cara ini pengguna baru akan mengisi celah-celah diantara pengguna yang sudah ada. Fokus utama terletak pada pembagian spektrum antara pengguna berlisensi dengan yang tidak berlisensi. Pengguna berlisensi disebut sebagai pengguna primer sedangkan pengguna tanpa lisensi disebut sebagai pengguna sekunder. Pengguna primer memiliki prioritas utama untuk mengakses spektrum, sedangkan pengguna sekunder hanya bisa mengakses jika pengguna primer sedang tidak menggunakannya. Pengguna sekunder harus memiliki kemampuan mendeteksi keberadaan frekuensi yang kosong, melakukan konfigurasi untuk proses transmisi, mendeteksi kembalinya pengguna primer, dan menghentikan transmisi untuk mencari *white space* yang lain. Konfigurasi tidak semata-mata fokus pada masalah frekuensi, tetapi juga pada berbagai fitur jaringan seperti daya (*power*), *beam pattern*, algoritma routing, teknik *coding*, dan sebagainya.

Harus diakui pendekatan alternatif tersebut masih pada tatanan ideal. Ada banyak tantangan teknis dan kebijakan politik untuk mewujudkannya pada kenyataan. Dengan kata lain sukses tidaknya pengembangan teknologi jaringan radio kognitif akan sangat bergantung kepada perubahan



Gambar 2. Arsitektur Jaringan Radio Kognitif (Lassila, 2009)

rezim pengelolaan spektrum seperti dijabarkan di atas. Sebaliknya dilema akan muncul, yaitu ketika regulator berkomitmen untuk melaksanakan akses spektrum dinamis, harus ada jaminan dari sisi teknologi bahwa jaringan radio kognitif benar-benar bisa berjalan sesuai dengan yang diharapkan dan tidak memberikan interferensi kepada pengguna primer.

Arsitektur dan Fungsi Jaringan Radio Kognitif

Berikut adalah arsitektur umum dari jaringan radio kognitif:

Komponen jaringan : Komponen dari arsitektur jaringan radio kognitif, sebagaimana terlihat pada Gambar 2, dapat diklasifikasikan kedalam dua kelompok, yaitu jaringan utama dan jaringan kognitif. Jaringan utama (atau jaringan berlisensi) merupakan jaringan telekomunikasi seperti yang ada sekarang, dimana penggunaannya memiliki lisensi untuk beroperasi pada pita frekuensi yang diperuntukkan padanya. Jika jaringan utama memiliki infrastruktur, aktivitas pengguna utama dikendalikan melalui *base station*



utama. Dikarenakan prioritas akses spektrum yang dimilikinya, aktivitas pengguna utama tidak akan terpengaruh oleh pengguna tanpa lisensi (pengguna sekunder). Jaringan radio kognitif tidak memiliki lisensi untuk beroperasi pada pita frekuensi yang diinginkan. Fungsionalitas tambahan diperlukan oleh pengguna jaringan radio kognitif untuk berbagi spektrum. Jaringan radio kognitif dapat juga dilengkapi dengan *base station* radio kognitif yang menyediakan koneksi *single-hop* kepada pengguna radio kognitif. Terakhir, jaringan radio kognitif juga bisa menempatkan *spectrum broker* yang berperan dalam hal mendistribusikan sumber daya spektrum diantara jaringan radio kognitif.

Heterogenitas spektrum : Pengguna radio kognitif dapat mengakses spektrum berlisensi yang digunakan oleh pengguna primer dan spektrum tanpa lisensi melalui teknologi akses pita lebar. Konsekuensinya, operasi jaringan radio kognitif dapat diklasifikasikan kedalam operasi pita berlisensi dan operasi pita tanpa lisensi. Pita berlisensi diprioritaskan untuk jaringan utama, sehingga jaringan radio kognitif difokuskan kepada pengguna utama. Ketika tidak ada pengguna utama yang menggunakan spektrum, pengguna radio kognitif memiliki hak yang sama dalam mengakses spektrum. Jadi, metode yang canggih dalam pembagian spektrum diperlukan oleh

pengguna radio kognitif untuk berkompetisi pada pita tanpa lisensi.

Heterogenitas jaringan : Pengguna radio kognitif memiliki kesempatan untuk melakukan tiga jenis akses yang berbeda yaitu:

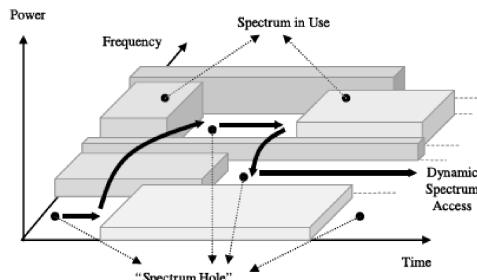
- Akses jaringan radio kognitif: pengguna radio kognitif dapat mengakses *base station* radio kognitif milik mereka sendiri, pada pita lisensi maupun tanpa lisensi. Oleh karena semua interaksi terjadi di dalam radio kognitif, kebijakan terkait pembagian spektrum bisa tidak bergantung pada jaringan utama.
- Akses *ad hoc* radio kognitif : pengguna radio kognitif dapat berkomunikasi dengan yang lain melalui suatu koneksi *ad hoc* baik untuk pita berlisensi maupun tanpa lisensi.
- Akses jaringan primer: pengguna radio kognitif juga dapat mengakses *base station* utama melalui pita berlisensi. Tidak seperti jenis akses yang lain, pengguna radio kognitif memerlukan protokol MAC adaptif yang memungkinkan *roaming* terhadap berbagai jaringan utama dengan berbagai teknologi akses.

Adapun fungsi utama dari Radio kognitif adalah sebagai berikut:

1. Penginderaan Spektrum (*spectrum sensing*), yaitu mendeteksi spektrum



yang tidak terpakai dan membagikannya tanpa menimbulkan



Gambar 3. Konsep Lubang Spektrum (Akyildiz et al, 2006)

interferensi yang membahayakan dengan pengguna lain. Ini merupakan syarat penting dari jaringan radio kognitif untuk mendeteksi lubang spektrum (*spectrum holes*). Lubang spektrum dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu :

- black spaces*; yaitu spektrum yang diduduki oleh pengguna dengan daya interferensi tinggi (*high power interferes*).
- grey spaces*; area spektrum yang sebagian diduduki oleh pengguna dengan daya interferensi rendah (*low power interferes*).
- white spaces*; area spektrum yang benar-benar kosong.

Teknik *spectrum sensing* secara umum dibagi menjadi 3 jenis, yaitu deteksi pemancar utama (*primary transmitter detection*), Deteksi penerima utama (*primary receiver detection*), dan

manajemen suhu interferensi (*interference temperature management*). Deteksi pemancar utama dapat dilakukan melalui 3 skema yaitu *matched filter detection*, *energy detection* dan *cyclostationary detection*.

a. *Matched filter detection*
Matched filter akan memaksimalkan SNR (*Signal to Noise Ratio*).

b. Deteksi energi (*energy detection*)
Jika penerima tidak dapat mengumpulkan informasi yang cukup mengenai sinyal pengguna utama, maka detektor yang optimal adalah detektor energi. Untuk mengukur energi dari sinyal yang diterima, sayangnya detektor energi tidak dapat membedakan jenis sinyal melainkan hanya mendeteksi keberadaan sinyal.

c. *Cyclostationary detection*
Cyclostationary detection memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan dua detektor lainnya. Teknik deteksi dengan menggunakan fungsi korelasi spektral.

2. Pengaturan Spektrum (*spectrum management*), yaitu menangkap spektrum terbaik untuk memenuhi kebutuhan pengguna komunikasi. Radio kognitif harus memutuskan pada pita spektrum terbaik untuk memenuhi kebutuhan kualitas layanan atas semua pita spektrum yang tersedia, sehingga fungsi manajemen

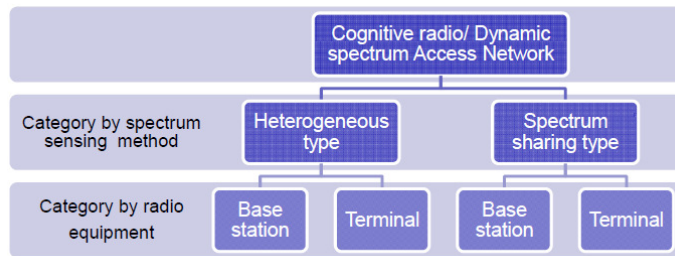


- spektrum sangat diperlukan pada radio kognitif.
3. Mobilitas spectrum (*spectrum mobility*), yaitu suatu proses ketika radio kognitif melakukan pergantian frekuensi operasionalnya. Jaringan radio kognitif menggunakan spektrum secara dinamis dengan mengizinkan terminal radio untuk beroperasi pada pita frekuensi terbaik yang tersedia, mempertahankan kebutuhan komunikasi pada saat transisi ke spektrum yang lebih baik secara mulus.
 4. Pembagian Spectrum (*spectrum sharing*), yaitu menyediakan metode penjadwalan spektrum yang adil. Salah satu tantangan utama dalam penggunaan spektrum terbuka adalah berbagi spektrum. Hal ini bisa dianggap serupa dengan masalah pada MAC pada sistem saat yang ada saat ini.
 2. Pemrograman dinamis (*dynamic programming*)
Di dalam matematika dan ilmu komputer, pemrograman dinamis adalah suatu metode untuk memecahkan permasalahan yang kompleks dengan cara menguraikan permasalahan tersebut kedalam sub-sub permasalahan yang lebih sederhana.
 3. *Machines learning with feedback*
Tugas utama dari radio kognitif adalah mengambil keputusan bagaimana melakukan adaptasi terhadap radio berdasarkan informasi yang diperolehnya dari lingkungan. Teknik-teknik untuk meningkatkan kinerja berdasarkan pembelajaran dari masa lalu adalah sangat penting dalam jaringan kognitif. Kebanyakan peneliti menggunakan algoritma genetik dan jaringan saraf tiruan untuk menyesuaikan parameter radio dengan tujuan optimalisasi.

Teknologi Pendorong

Menurut Haykin (2007), terdapat beberapa teknologi yang mendukung perkembangan dari jaringan radio kognitif, yaitu :

1. Pemrosesan sinyal Bayes (*Bayesian signal processing*)
Pemrosesan sinyal Bayes merupakan suatu metode untuk mengestimasi nilai riil dari suatu variabel acak yang diamati sepanjang waktu.
4. Model teori permainan (*game-theoretic models*).
Teori permainan memberikan alat analisis untuk memprediksi outcome dari interaksi kompleks berbagai entitas rasional. Teori permainan secara tradisional digunakan dalam ilmu ekonomi, sosial politik, biologi dan sosiologi dan sekarang juga banyak diterapkan pada sistem telekomunikasi.



Gambar 4. Klasifikasi Radio Kognitif (Harada, 2009)

Perkembangan Teknologi Jaringan Radio Kognitif

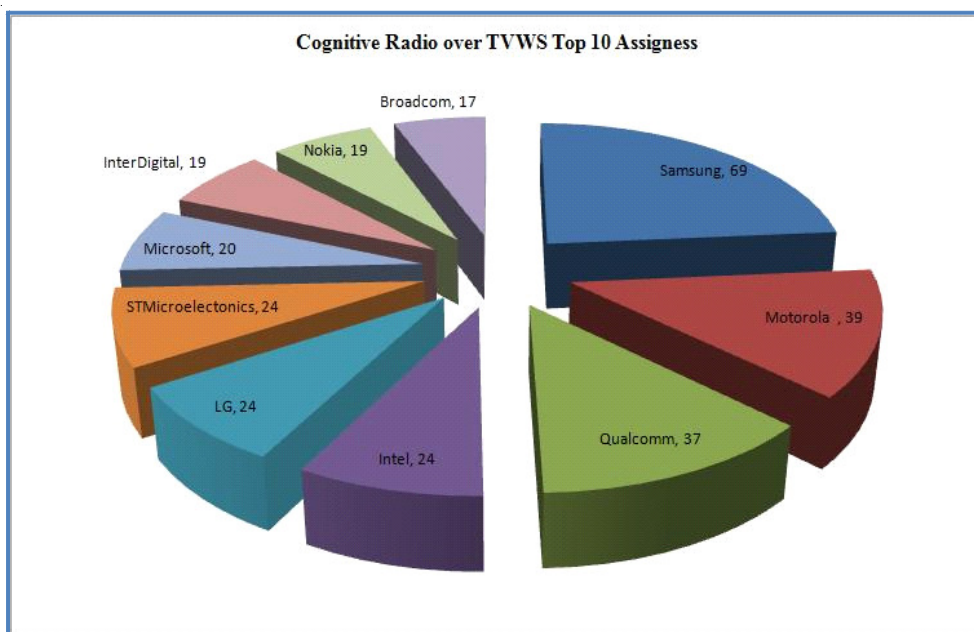
Hasil penelitian dari NICT (*National Institute of Information and Communications Technology*) Jepang mengusulkan dua jenis radio kognitif, yaitu *heterogeneous type cognitive radio* dan *spectrum sharing type cognitive radio*. Radio kognitif jenis pertama melakukan penginderaan (*sensing*) terhadap pita frekuensi dan *time slot* yang telah dialokasikan kepada sistem tersebut, kemudian mengambil sejumlah *bandwidth* (*transmission rate*) yang cukup dari sistem yang ada untuk dipakai oleh pengguna. Sedangkan radio kognitif jenis yang kedua dilakukan dengan penginderaan terhadap frekuensi dan *time slot* yang kosong (*vacant*) dan tidak digunakan oleh operator lain untuk kemudian digabung agar dapat digunakan oleh pengguna. Masing-masing kategori tersebut dapat dibedakan lagi berdasarkan perangkat radio dimana fungsi penginderaan spektrum ditempatkan, yaitu di *base station* dan terminal.

Berdasarkan parameter yang diperhitungkan dalam keputusan perubahan transmisi dan penerimaan, secara garis besar jaringan radio kognitif dapat dibedakan menjadi

dua yaitu *full cognitive radio* dan *spectrum sensing cognitive radio*. *Full cognitive radio* (*Mitola radio*) memperhitungkan semua parameter yang mungkin teramati oleh *wireless node* atau jaringan. Sedangkan *spectrum sensing cognitive radio* hanya mempertimbangkan spektrum frekuensi radio sebagai satu-satunya parameter. Selain itu, berdasarkan bagian spektrum yang digunakan untuk radio kognitif dapat dibedakan menjadi *licensed band cognitive radio* dan *unlicensed band cognitive radio*. Meskipun pada awalnya radio kognitif dipikirkan sebagai *full cognitive radio*, namun penelitian yang saat ini sedang berjalan lebih fokus kepada *spectrum sensing cognitive radio*.

Paten untuk Radio Kognitif

Sebagaimana telah dijelaskan di atas, teknologi jaringan radio kognitif dapat digunakan untuk memberdayakan spektrum frekuensi yang tidak terpakai khususnya untuk spektrum yang dialokasikan untuk penyiaran



Gambar 5. Sebaran Paten Radio Kognitif untuk TVWS (www.techipm.com)

(TVWS/*Television White Spaces*). Pada bulan Desember 2008, Phillips, Samsung, HP, TI, ETRI, dan Georgia Tech mengumumkan pembentukan kelompok baru yang diberi nama *Cognitive Networking Alliance (CogNeA)*. CogNeA bertujuan untuk mendorong definisi dan adopsi dari suatu standar industri yang digunakan secara luas untuk perangkat *portable* dan berdaya rendah yang dapat beroperasi di TVWS. Teknologi jaringan radio kognitif pada TVWS ada di bawah standardisasi IEEE (IEEE 802.22). Teknologi radio kognitif pada TVWS juga dapat diaplikasikan pada 4G LTE.

Data kuartal ke-3 tahun 2010 menunjukkan terdapat 701 paten yang terkait dengan radio kognitif pada TVWS di Amerika Serikat (158 paten yang telah diterbitkan, 543 pengajuan yang dipublikasikan). Samsung Electronic menjadi pemimpin terdepan diikuti oleh Motorola dan Qualcomm. Gambar berikut menyajikan secara lengkap sebaran paten di antara vendor.

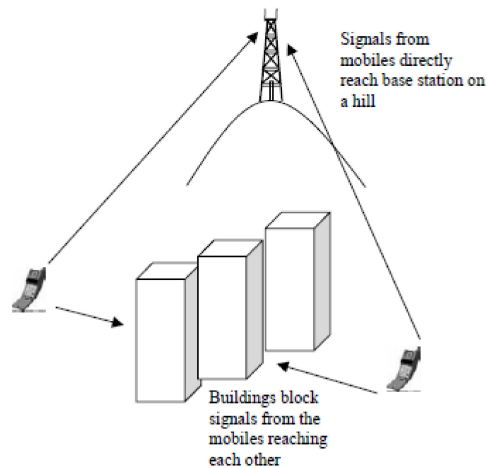
Kendala pada Radio Kognitif

Terdapat beberapa kendala pada penerapan radio kognitif, yaitu :

1. Dalam praktek, spektrum mungkin terlihat seperti sedang tidak digunakan, padahal yang terjadi adalah sebaliknya. Moni-

toring terhadap pendudukan spektrum yang terlampaui sederhana dapat mengakibatkan beberapa masalah, antara lain:

- Pemancar mungkin berada di balik bukit atau terhalang oleh bangunan lainnya yang berakibat monitoring tidak bisa memastikan apakah kanal sedang digunakan atau tidak.
- Teknologi dengan kekuatan sinyal sangat lemah, seperti transmisi satelit GPS, mungkin sedang digunakan namun tidak terdeteksi karena jatuh di bawah batasan *noise* pada alat pengukur.
- Frekuensi biasanya digunakan kembali (*re-used*) di antara sel. Sistem ini memerlukan jarak antar sel yang menggunakan frekuensi yang sama untuk menghindari terjadinya interferensi. Pada jarak (*gap*) ini, frekuensi seolah-olah tidak digunakan, namun jika dilakukan transmisi akan berdampak terjadinya interferensi pada penggunaan spektrum yang sudah ada.
- Spektrum sering tidak digunakan di luar kota (daerah pedesaan). Namun, hal ini dikarenakan oleh kurangnya permintaan dan tidak menciptakan kebutuhan akan teknologi yang berbeda.
- Teknologi yang lebih baru menggunakan antena adaptif yang mengarahkan sinyal radio ke arah penerima. Terkait dengan hal ini,



Gambar 6. Ilustrasi Masalah *Hidden Terminal* (Cave et al, 2007)

jika perangkat monitoring tidak berada pada arah yang sama, maka sinyal tidak akan terdeteksi.

- Teori yang berkaitan dengan *blocking* terhadap kapasitas sistem komunikasi menunjukkan bahwa kanal biasanya memerlukan rata-rata penggunaan kurang dari 80 % dalam rangka untuk menyediakan kapasitas pada saat beban puncak (*peak*). Hal ini menyiratkan bahwa tingkat utilisasi spektrum akan selalu lebih besar daripada yang terdeteksi melalui monitoring. Sehingga tidak jelas berapa sebenarnya tingkat utilisasi spektrum.
2. Radio kognitif terganggu oleh masalah *hidden terminal*.

Masalah *hidden terminal* dapat diilustrasikan sebagaimana termuat

dalam Gambar 6.

Radio kognitif mungkin dalam proses pengukuran tidak menemukan suatu aktifitas pada suatu spektrum. Namun mungkin saja terdapat pengguna di balik suatu bangunan, melakukan transmisi ke menara yang ada di tempat lebih tinggi (misal bukit). Oleh karena terdapat bangunan diantara dua pengguna tersebut, radio kognitif tidak menerima sinyal dan menyimpulkan bahwa spektrum sedang tidak dipakai. Namun karena kedua pengguna terlihat dari menara di atas bukit, ketika radio kognitif mengirimkan sinyalnya akan diterima sebagai interferensi oleh menara. Masalah ini dapat diatasi oleh menara dengan mengirimkan sinyal yang mengindikasikan apakah spektrum sedang digunakan. Suatu terminal kemudian meminta penggunaan spektrum dan jika diizinkan menara mengindikasikan bahwa spektrum sedang sibuk. Pendekatan tersebut dapat bekerja dengan baik namun memerlukan manajemen terpusat oleh pemilik pita frekuensi yang berdampak signifikan terhadap manajemen spektrum.

3. Beberapa pengguna akan menginginkan kepastian akses.

Pendekatan radio kognitif bergantung pada pencarian spektrum yang tidak terpakai. Pada kasus tertentu,

mungkin akan sangat susah untuk mendapatkan spektrum ini, sehingga pengguna radio kognitif akan mengalami kesulitan dalam melakukan transmisi. Untuk sebagian pengguna hal ini tentunya tidak dapat diterima. Jadi, mungkin terdapat pita frekuensi dengan kepastian akses yang lebih besar dimana pendekatan akses normal digunakan. Jika probabilitas akses kognitif dirasa terlalu rendah tentunya akan menjadikan nilai minus tersendiri di mata pengguna.

Kesimpulan

1. Jaringan radio kognitif merupakan suatu topik yang memiliki daya tarik besar sekaligus suatu teknologi yang sangat menjanjikan yang akan berperan penting dalam sistem komunikasi di masa depan, khususnya untuk mengatasi inefisiensi dalam penggunaan spektrum frekuensi radio.
2. Optimalisasi frekuensi sebagai sumber daya yang terbatas dan memiliki nilai ekonomi yang tinggi dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi jaringan radio kognitif yang tentunya harus didukung dengan perubahan dalam rezim pengelolaan spektrum frekuensi, dari yang sifatnya statis menjadi dinamis.
3. Jaringan radio kognitif merupakan radio atau sistem yang mampu



- melakukan penginderaan terhadap lingkungan operasionalnya dan dapat secara dinamis menyesuaikan parameter operasional radio secara tepat dengan mengkolaborasikan jaringan kabel dan nirkabel. Terdapat empat fungsi utama dari radio kognitif, yaitu penginderaan spektrum (*spectrum sensing*), pengaturan spektrum (*spectrum management*), mobilitas spektrum (*spectrum mobility*) dan pembagian spektrum (*spectrum sharing*).
4. Jaringan radio kognitif saat ini sedang berkembang pesat, dan mayoritas penelitian saat ini fokus kepada *spectrum sensing cognitive radio*, yang berarti satu-satunya parameter operasional radio adalah spektrum. Namun demikian, dalam perkembangannya, masih terdapat beberapa kendala pada jaringan radio kognitif, yaitu antara lain masalah *hidden terminal* dan kepastian akses.
 3. Standar.
 4. Teori informasi untuk radio kognitif.
 5. Skema akses jamak (*multiple access schemes*) untuk radio kognitif.
 6. Pengaturan QoS (kualitas layanan) pada jaringan radio kognitif.
 7. Riset interdisiplin untuk radio kognitif.
 8. Kapasitas dan *data rate* yang bisa dicapai melalui jaringan radio kognitif.

DAFTAR PUSTAKA

- Akyildiz, I. F., et al., 2006, *Next Generation/Dynamic Spectrum Access/Cognitive Radio Wireless Network : A Survey*, *Computer Networks*, 50 : 2127-2159
- Cave, M., Doyle, C. dan Webb, W., 2007, *Essentials of Modern Spectrum Management*. Cambridge University Press
- Cognitive Radio, 2011, (http://en.wikipedia.org/wiki/Cognitive_radio, diakses 5 Maret 2011)
- Departemen Perhubungan, 2004, *Studi tentang Kebijakan Spektrum Frekuensi Radio pada Sistem Telekomunikasi Bergerak Seluler*. Jakarta : Bagian Proyek Penelitian dan Pengembangan Pos dan Telekomunikasi

Saran

Terkait dengan peluang penelitian lebih lanjut di bidang radio kognitif, berikut adalah beberapa sub topik penelitian yang perlu didalami :

1. Pengembangan algoritma untuk penginderaan spektrum serta protokol pendukung.
2. Keamanan jaringan untuk radio kognitif.



- Doyle, L.E., 2009, *Essential of Cognitive Radio*. Cambridge University Press.
- Dynamic Programming, 2011, (http://en.wikipedia.org/wiki/Dynamic_programming, diakses 5 Maret 2011)
- Harada, H., 2009, *Research and Development Activities on Cognitive Radio/ Dynamic Spectrum Access*. Jepang : National Institute of Information and Communication Technology
- Hayar, A. M., Knopp, R. dan Pacalet, R. *Cognitive Radio Research and Implementation Challenges*. Perancis : Mobile Communications Laboratory Institute & SOC Laboratory.
- http://www.elsevierscitech.com/pdfs/cfp_ComCom_Benslimane_Extended.pdf.
- Kementerian Komunikasi dan Informatika, 2010, *Buku Statistik Postel 2010*, Jakarta : Direktorat Jenderal Pos dan Telekomunikasi
- Kementerian Komunikasi dan Informatika, 2011, *Kerangka Acuan Kerja Studi Optimalisasi Penggunaan Spektrum Frekuensi Radio oleh Penyelenggara Teknologi Informasi dan Komunikasi*, Jakarta: Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya dan Perangkat Pos dan Informatika
- Lassila, P., Penttinen, A., 2009, *Survey on Performance Analysis of Cognitive Radio Networks*. Finlandia : Helsinki University of Technology
- Matinmikko, M. et al. 2008. *Cognitive Radio : An Intelligent Wireless Communication System*. Finlandia : VTT Technical Research Center of Finland.
- Metode Penelitian, 2011, (<http://suprptojielwongsolo.wordpress.com/2008/09/16/metode-penelitian/>, diakses 5 Maret 2011)
- NSF Workshop Report, 2009, *Future Directions in Cognitive Radio Network Research*.
- Patents for Cognitive Radio over TVWS Q3 2010, 2011, (<http://techipm-innovationfrontline.blogspot.com/2010/11/patents-for-cognitive-radio-over-tvws.html>, diakses 5 Maret 2011)
- www.pribadiraharja.com/neli/SKRIPSI/Lampiran/proposal.doc.