

BAB III

MANAJEMEN FREKUENSI

PADA KOEKSISTENSI SISTEM WIRELESS

3.1 Manajemen Frekuensi

3.1.1 Beberapa Istilah

Beberapa istilah khusus berkaitan dengan Manajemen Frekuensi adalah :

Alokasi/allocation (suatu pita frekuensi) : Pencantuman pita frekuensi tertentu dalam Daftar Alokasi Frekuensi dengan maksud untuk penggunaan oleh satu atau lebih dinas komunikasi radio terrestrial atau dinas komunikasi radio ruang angkasa atau dinas radio astronomi berdasarkan persyaratan tertentu. Istilah alokasi ini juga harus berlaku untuk pembagian lebih lanjut pita frekuensi di atas untuk setiap jenis pitanya.

Penjatahan/allotment (frekuensi radio atau kanal frekuensi radio) : Pencantuman kanal frekuensi-frekuensi tertentu dalam suatu rencana yang disetujui dan disahkan oleh suatu konferensi yang berwenang untuk dipergunakan oleh satu atau lebih administrasi untuk dinas komunikasi radio terrestrial atau dinas komunikasi radio ruang angkasa dalam satu atau lebih negara atau daerah geografis yang tercantum dalam rencana tersebut di atas dan berdasarkan persyaratan tertentu.

Penetapan/assignment (frekuensi radio atau kanal frekuensi radio) : Izin yang diberikan oleh suatu administrasi kepada suatu stasiun radio untuk menggunakan frekuensi radio atau kanal frekuensi radio berdasarkan persyaratan tertentu.

Interferensi : Akibat dari energi yang tidak dikehendaki (*unwanted*) yang disebabkan oleh satu kombinasi emisi, radiasi atau induksi terhadap penerimaan dalam sistem komunikasi radio, yang ditunjukkan dengan adanya suatu penurunan mutu, salah pengertian, atau hilangnya informasi, yang dapat diperoleh kembali bila energi yang tidak dikehendaki tersebut dihilangkan. Interferensi yang merugikan (*harmful interference*) adalah interferensi yang membahayakan fungsi dari suatu *dinas navigasi radio* atau *dinas-dinas keselamatan* lainnya atau sangat menurunkan mutu, menghalangi ataupun berulang kali memutuskan hubungan suatu *dinas komunikasi radio* yang beroperasi berdasarkan Radio Regulation.

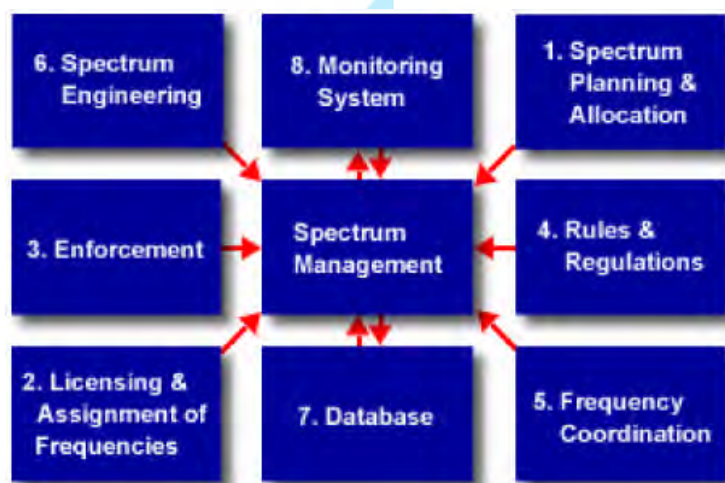
EIRP (Effective Isotropically Radiated Power) merupakan hasil perkalian antara daya yang dicatukan ke antena dengan penguatan antena, relatif terhadap antena isotropic

pada suatu arah tertentu (penguatan mutlak atau isotropic) maksimum untuk penggunaan outdoor sebesar 4 Watt (36 dBm) dan untuk penggunaan indoor sebesar 0,5 Watt (27 dBm) .

Analisa teknis adalah perhitungan dari parameter-parameter teknis spektrum frekuensi agar spektrum frekuensi yang ditetapkan sesuai dengan peruntukannya dan tidak saling menimbulkan interferensi yang merugikan (*harmful interference*).

3.1.2 Elemen Manajemen Spektrum Frekuensi

Untuk menghasilkan suatu pengelolaan spektrum frekuensi yang baik, maka hal-hal yang harus dipenuhi meliputi Alokasi dan Perencanaan Spektrum, Lisensi dan Assignment Frekuensi, Enforcement kondisi regulasi dan lisensi untuk menghindari interferensi, Hukum dan Regulasi. [34] Selengkapnya sebagaimana Gambar 3.1 di bawah ini.

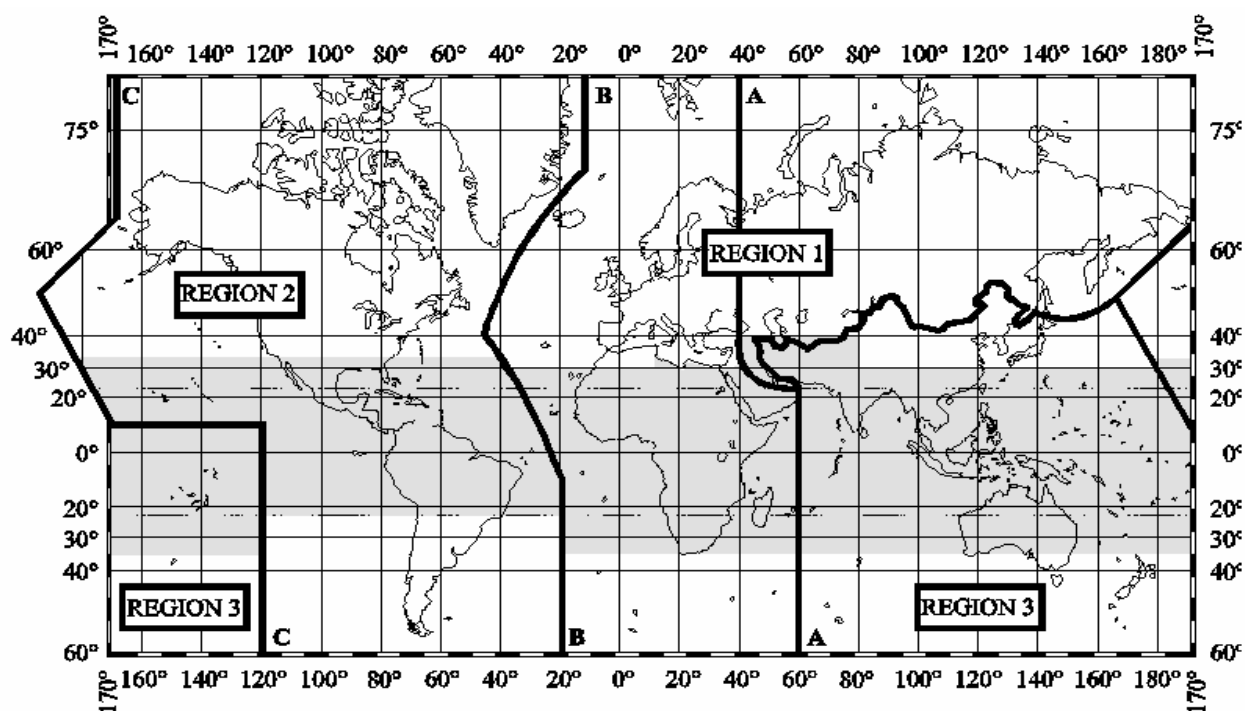


Gambar 3.1 Elemen Manajemen Spektrum Frekuensi [Sumber : ICT Regulation Toolkit Module 5]

3.1.3 ITU Radio Regulation

Spektrum elektromagnetik merupakan sumber daya yang sangat terbatas, penggunaan pita frekuensi radio di dalam spektrum elektromagnetik diatur oleh pemerintah. Proses pengaturan frekuensi radio ini dikenal dengan alokasi frekuensi atau spektrum. Dikarenakan propagasi radio dan teknologi RF (*radio frequency*) dapat menembus batas-batas teritorial suatu negara, standar alokasi frekuensi menjadi satu keharusan yang harus diikuti oleh pemerintah dalam pengembangan aspek teknologi dan ekonominya. Alokasi frekuensi di

dunia sesuai dengan *Radio Regulation* dibagi menjadi tiga region, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini :



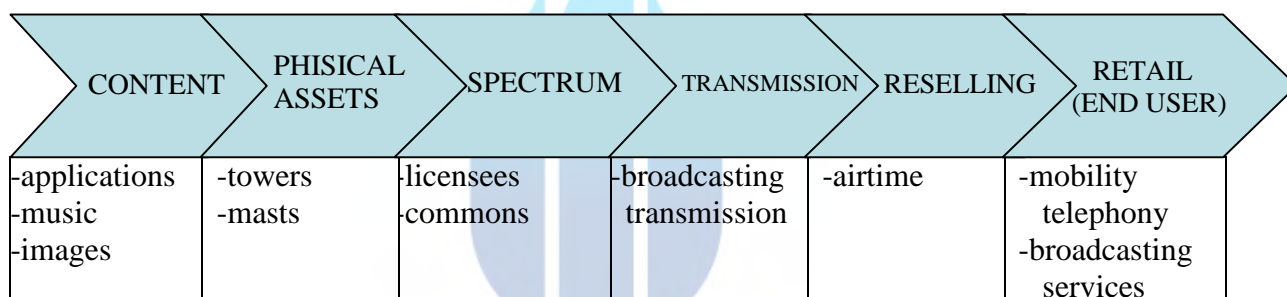
Gambar 3.2 *Allotment* frekuensi berdasarkan region

Spektrum frekuensi merupakan sumber daya alam yang terbatas yang mempunyai nilai strategis dalam penyelenggaraan telekomunikasi dan dikuasi oleh negara. Pemanfaatan spektrum frekuensi sebagai sumber daya alam tersebut perlu dilakukan secara tertib, efisien dan sesuai dengan peruntukannya sehingga tidak menimbulkan gangguan yang merugikan. Spektrum frekuensi adalah susunan pita frekuensi radio yang mempunyai frekuensi lebih kecil dari 3000 Ghz sebagai satuan getaran gelombang elektromagnetik merambat dan terdapat dalam dirgantara (ruang udara dan antariksa). Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia ditetapkan dengan mengacu kepada alokasi Spektrum Frekuensi Radio Internasional untuk wilayah 3 (region 3) sesuai Peraturan Radio yang ditetapkan oleh Himpunan Telekomunikasi Internasional (ITU). Tabel alokasi frekuensi nasional Indonesia disusun berdasarkan hasil Final Act World Radio Communication Conference-1997 yang berlangsung di Jenewa, pada bulan November 1997. Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia diambil dari referensi-referensi berikut ini :

- a. Artikel S5, Frequency Allocation, Radio Regulation dan Final Act-World Radiocommunication Conference (WRC)-1997, International Telecommunication Union (ITU), Tabel Alokasi telah diterjemahkan ke dalam Bahasa Indonesia.
- b. Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia, edisi pertama, 1996
- c. Penetapan Frekuensi Maritim, Penerbangan dan Siaran di Indonesia
- d. Penetapan Frekuensi Dinas Tetap di Indonesia
- e. Database AFMS (Automated Frequency Management System).

3.1.4 Value Chain Spektrum pada Layanan Wireless

Untuk layanan wireless, *value chain* spektrum frekuensi digambarkan sebagai berikut, dengan contohnya masing-masing :

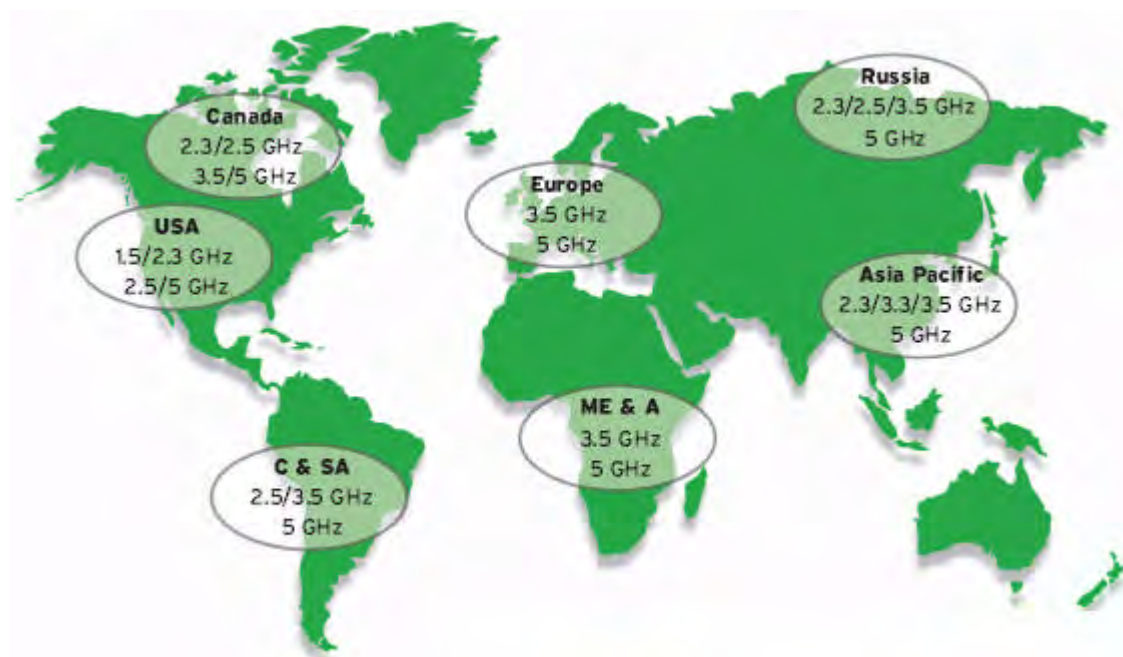


Gambar 3.3 Value Chain Spektrum pada Layanan Wireless [2]

3.1.5 Spektrum Frekuensi WiMAX

Sebagai teknologi yang berbasis pada frekuensi, kesuksesan WiMAX sangat bergantung pada ketersediaan dan kesesuaian spektrum frekuensi. Sistem wireless mengenal dua jenis band frekuensi yaitu Licensed Band dan Unlicensed Band. Licensed band membutuhkan lisensi atau otoritas dari regulator, yang mana operator yang memperoleh licensed band diberikan hak eksklusif untuk menyelenggarakan layanan dalam suatu area tertentu. Sementara Unlicensed Band yang tidak membutuhkan lisensi dalam penggunaannya memungkinkan setiap orang menggunakan frekuensi secara bebas di semua area. WiMAX Forum menetapkan 2 band frekuensi utama pada certification profile untuk Fixed WiMAX (band 3.5 GHz dan 5.8 GHz), sementara untuk Mobile WiMAX ditetapkan 4 band frekuensi pada system profile release-1, yaitu band 2.3 GHz, 2.5 GHz, 3.3 GHz dan 3.5 GHz. Secara umum terdapat beberapa alternatif frekuensi untuk teknologi WiMAX sesuai dengan peta

frekuensi dunia. Dari alternatif tersebut band frekuensi 3,5 GHz menjadi frekuensi mayoritas Fixed WiMAX di beberapa negara, terutama untuk negara-negara di Eropa, Canada, Timur-Tengah, Australia dan sebagian Asia. Sementara frekuensi yang mayoritas digunakan untuk Mobile WiMAX adalah 2,5 GHz.



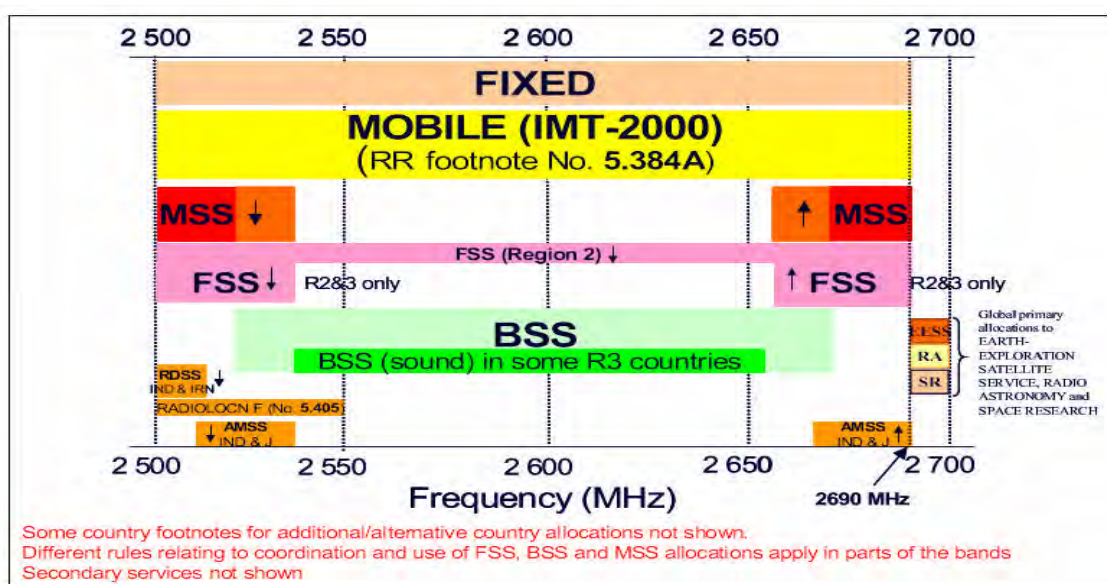
Gambar 3.4 Peta frekuensi pengembangan WiMAX dunia

3.1.6 Alokasi Frekuensi ITU 2,5-2,7 GHz bagi Layanan Satelit pada Band Frekuensi WiMAX

Gambar 3.5 menunjukkan berbagai isu sharing frekuensi yang dapat muncul antara sistem satelit dan terrestrial yang beroperasi beberapa region pada band yang ada. Sharing 'space-to-earth' antara layanan terrestrial dan satelit pada band ini ditentukan dalam WRC-07 Agenda Item 1.9 (Task Group JTG6-8-9).

Alokasi Frekuensi tersebut sebagai berikut :

- 2500 – 2520 MHz, Tetap, Tetap-Satelit, Bergerak, Bergerak-Satelit
- 2520 – 2535 MHz, Tetap, Tetap-Satelit, Bergerak, Penyiaran-Satelit
- 2535 – 2655 MHz, Tetap, Bergerak, Penyiaran-Satelit
- 2655 – 2670 MHz, Tetap, Tetap-Satelit, Bergerak, Penyiaran-Satelit
- 2670 – 2690 MHz, Tetap, Tetap-Satelit, Bergerak, Bergerak-Satelit



Gambar 3.5 Alokasi frekuensi band 2500-2700 MHz pada ITU Radio Regulation Article-5

3.1.7 Kebijakan Penggunaan Spektrum Frekuensi BWA/WiMAX di Indonesia

Kebijakan alokasi frekuensi radio terkait dengan pengembangan regulasi telekomunikasi, karena regulasi secara umum mengikuti kebijakan dan perencanaan yang ada. Perencanaan alokasi frekuensi dilaksanakan meliputi alokasi frekuensi yang ada saat ini dan perencanaan di masa yang akan datang. Beberapa Alokasi frekuensi di Indonesia berpatokan pada Radio Regulation yang telah ditetapkan oleh ITU. Berikut adalah beberapa dokumen yang digunakan untuk mengatur regulasi frekuensi di Indonesia, termasuk yang terkait dengan ijin penyelenggaraan layanan BWA :

- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor : 53 Tahun 2000 tentang Penggunaan Spektrum Frekuensi Radio dan Orbit Satelit (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2000 Nomor 108, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 3981)
- Keputusan Menteri Kominfo No.4/KEP/M.KOMINFO/01/2009 tentang Peluang Usaha Penyelenggaraan Jaringan Tetap Lokal Berbasis *Packet Switched* yang Menggunakan Pita Frekuensi Radio 2.3 GHz untuk Keperluan Layanan Pita Lebar Nirkabel .
- Peraturan Menteri Kominfo No.7/PER/M.KOMINFO/01/2009 tentang Penataan Pita Frekuensi Radio Untuk Keperluan Layanan Pita Lebar Nirkabel (Wireless Broadband).
- Peraturan Menteri Kominfo No.8/PER/M.KOMINFO/01/2009 tentang Penetapan Pita Frekuensi Radio untuk Keperluan Layanan Pita Lebar Nirkabel (*Wireless Broadband*) Pada Pita Frekuensi Radio 2.3 GHz.

3.1.8 Pita Frekuensi BWA/WiMAX Eksisting

Pita frekuensi 2500 – 2690 MHz sebelumnya digunakan untuk aplikasi non BWA, misalnya untuk sistem komunikasi radio microwave link di lokasi-lokasi tertentu. Sejak tahun 1997-an, pita frekuensi 2520 – 2690 MHz digunakan untuk layanan satelit untuk penyiaran berbayar DTH-BSS (Direct-To-Home-Broadcasting Satellite Services) Indovision yang dioperasikan oleh *PT. Media Citra Indostar* (MNC Skyvision). Sedang untuk penggunaan frekuensi BWA, pada bulan September 2001, Postel telah memberikan surat persetujuan alokasi frekuensi untuk maksimum 3 kanal TDD 6 MHz pada pita frekuensi 2500 – 2518 MHz dan 2672 – 2690 MHz secara “sharing” kepada *PT. Elang Mahkota Teknologi* dengan wilayah layanan Jabotabek dan Surabaya . Dan pada bulan Desember 2002, telah diberikan surat persetujuan alokasi frekuensi untuk maksimum 3 kanal TDD 6 MHz pada pita frekuensi 2500 – 2518 MHz dan 2672 – 2690 MHz secara “sharing” kepada *PT. Citra Sari Makmur* (CSM) dengan wilayah layanan Jakarta, Bandung dan Semarang. [7]

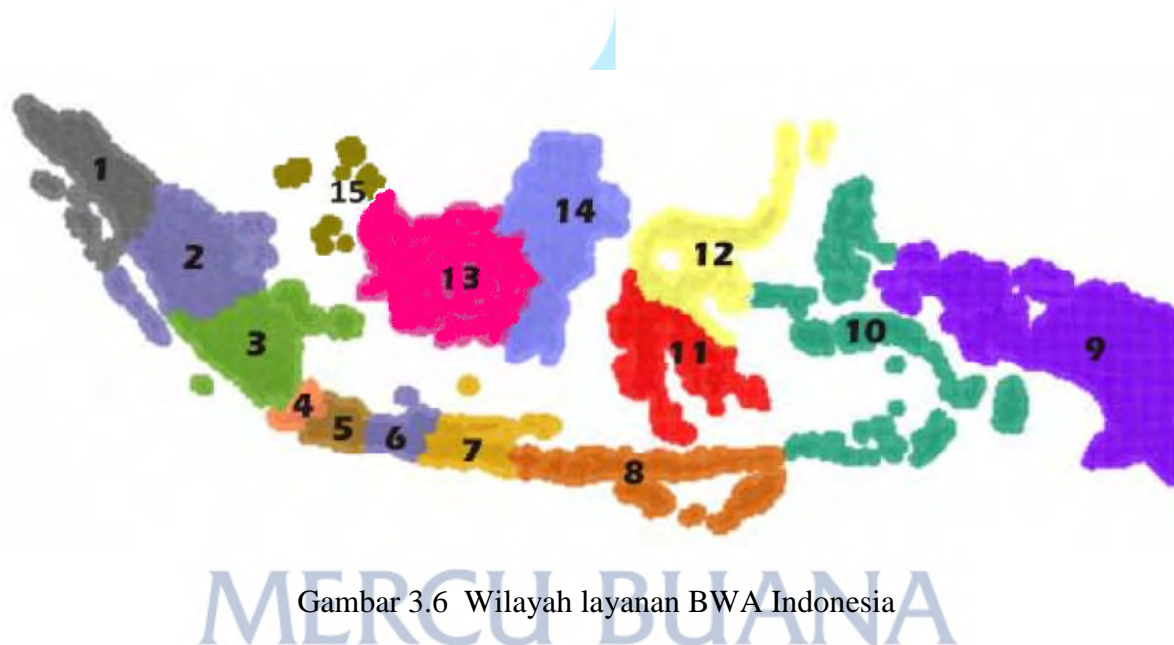
Keterbatasan jaringan kabel, dari waktu ke waktu telah mendorong semakin meningkatnya kebutuhan spektrum frekuensi radio (berbasis teknologi *wireless*) yang merupakan media informasi bagi para penyelenggara telekomunikasi. Secara garis besar, penggunaan frekuensi BWA dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu penggunaan frekuensi secara eksklusif di suatu wilayah layanan pada blok frekuensi tertentu dan penggunaan frekuensi secara non eksklusif (non lisensi) untuk suatu penyelenggara. Sebagai contoh band 2,5 GHz termasuk pita eksklusif. [7]

Tabel 3.1 Blok frekuensi pada band 2,5 GHz

Nomor Blok	Rentang Frekuensi	Frekuensi Carrier
1	2500 – 2506 MHz	2503 MHz
2	2506 – 2512 MHz	2509 MHz
3	2512 – 2518 MHz	2515 MHz
4	2668 – 2674 MHz	2671 MHz
5	2674 – 2680 MHz	2677 MHz
6	2680 – 2686 MHz	2683 MHz

3.1.9 Wilayah Layanan BWA/WiMAX

Pada dokumen white paper BWA didefinisikan Zona wilayah layanan BWA digunakan untuk menginterpretasikan wilayah layanan untuk distribusi perizinan BWA. Penggabungan wilayah layanan BWA menjadi 15 zona sesuai KM5/2009 dilakukan untuk menghindari gangguan interferensi dengan zona tetangganya, dimana secara geografis dilakukan proteksi dalam jangkauan 30 km. Daerah yang bersinggungan antar zona di dalam jangkauan 30 km tersebut dinyatakan sebagai wilayah koordinasi. Pembagian Wilayah Layanan BWA direncanakan untuk dibagi dalam 15 Zona Wilayah Layanan, dimana pengelompokan ini mengacu pada distribusi penomoran kode akses FTP (*Fundamental Technical Plan*) 2000 dan distribusi wilayah USO (*Universal Service Obligation*). [7]



Gambar 3.6 Wilayah layanan BWA Indonesia

Tabel 3.2 Wilayah layanan BWA Indonesia

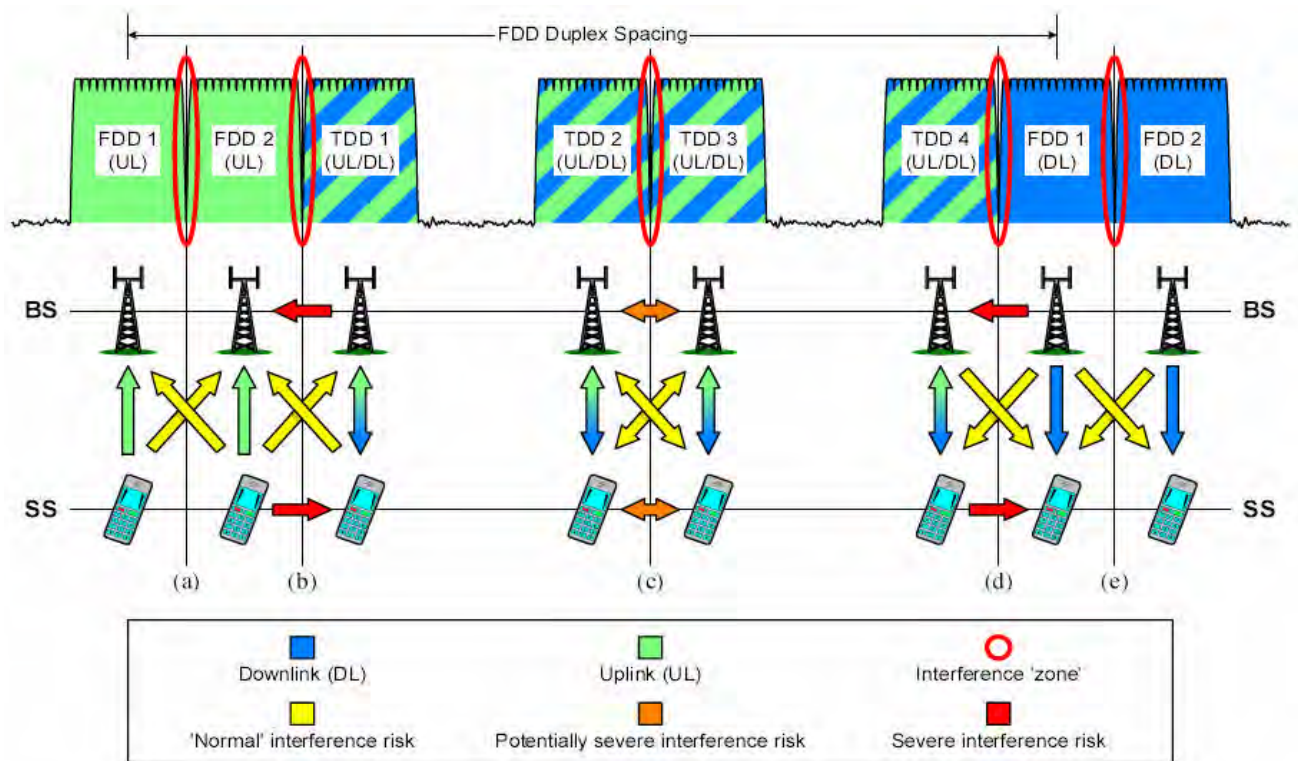
Zone	Wilayah	Wilayah Layanan
Zone I	Sumatera Bagian Utara	Nangroe Aceh Darussalam dan Sumatera Utara
Zone II	Sumatera Bagian Tengah	Sumatera Barat, Riau dan Jambi
Zone III	Sumatera Bagian Selatan	Bengkulu, Lampung, Sumatera Selatan dan Bangka Belitung
Zona IV	Banten dan Jabotabek	Banten, Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang, Bekasi
Zona V	Jawa Bagian Barat	Jawa Barat kecuali Bogor, Depok dan Bekasi
Zona VI	Jawa Bagian Tengah	Jawa Tengah dan DI Yogyakarta

Zona VII	Jawa Bagian Timur	Jawa Timur
Zona VIII	Bali dan Nusa Tenggara	Bali, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur
Zona IX	Papua	Papua dan Papua Barat
Zona X	Maluku dan Maluku Utara	Maluku dan Maluku Utara
Zona XI	Sulawesi Bagian Selatan	Sulawesi Selatan, Sulawesi Barat dan Sulawesi Tenggara
Zona XII	Sulawesi Bagian Utara	Sulawesi Utara, Gorontalo dan Sulawesi Tengah
Zona XIII	Kalimantan Bagian Barat	Kalimantan Barat dan Kalimantan Tengah
Zona XIV	Kalimantan Bagian Timur	Kalimantan Timur dan Kalimantan Selatan
Zone XV	Kepulauan Riau	Batam dan Bintan

3.2 Koeksistensi dan Interferensi

3.2.1 Skenario Koeksistensi

Teknologi radio wireless dapat menggunakan berbagai metode untuk melakukan komunikasi full duplex. Ketika sistem serupa dikembangkan oleh operator lain dan kompetitor dalam jarak yang rapat, maka harus dilakukan perencanaan sistem yang baik. Jika sistem-sistem tersebut beroperasi dalam beberapa metode duplexing berbeda maka mungkin saja diperlukan tantangan pengembangan tambahan. Perencana jaringan memiliki banyak pilihan teknik yang dapat digunakan untuk membantu mitigasi masalah interferensi antar teknologi dan antar jaringan. Pertama, perlu menentukan skenario koeksistensi yang mungkin ditemukan jika varian FDD dan TDD dari teknologi WiMAX dikembangkan di dalam band frekuensi berdekatan. Gambar 3.7 menunjukkan skenario koeksistensi lima *adjacent channel* yang mungkin jika varian-varian TDD dan FDD system WiMAX dikembangkan di dalam band frekuensi tunggal. Transmisi UL dan DL ditandai dengan panah hijau dan biru. Pada dasarnya **masalah interferensi** dapat terjadi jika perangkat pada satu frekuensi mencoba untuk sekaligus menerima *adjacent frequency* yang dipancarkan perangkat sekitar. Pada setiap skenario terdapat empat arah transmisi yaitu BS-to-BS, BS-to-SS, SS-to-BS dan SS-to-SS. Rute potensi interferensi digambarkan dengan panah kuning, orange dan merah dimana warna tersebut menggambarkan tingkatan level interferensi.



Gambar 3.7 Sumber ACI (adjacent channel interference) untuk beberapa skenario koeksistensi FDD/TDD.

3.2.1.1 FDD-TDD

Terdapat dua 'zone' interferensi pada koeksistensi FDD-TDD yaitu sistem TDD yang beroperasi di dalam band adjacent UL (Gambar 3.7b) dan sistem TDD yang beroperasi di dalam band adjacent DL (Gambar 3.7d). Perbedaan paling jelas antara skenario ini dan sebelumnya adalah bahwa perbedaan frekuensi tidak dapat dipercayakan pada pemisahan UL dan DL. Skenario ini mencakup rute interferensi serupa yang ditemukan di dalam skenario FDD-FDD ditambah potensi rute interferensi melemahkan BS-to-BS dan SS-to-SS di antara sistem FDD dan TDD.

Masalah SS-to-SS terjadi jika sebuah SS memancar pada jarak kanal yang rapat terhadap penerimaan SS lain pada adjacent channel. Ketika sistem TDD beroperasi di dalam sebuah kanal berdekatan dengan FDD UL, maka SS TDD mengalami interferensi dari SS FDD tetapi sebaliknya SS FDD tidak terinterferensi. Jika sistem TDD beroperasi di dalam sebuah kanal berdekatan dengan FDD DL, maka SS FDD mengalami interferensi dari SS TDD tetapi sebaliknya SS TDD tidak terinterferensi.

Umumnya jika SS FDD dan SS TDD dioperasikan pada frekuensi cukup tertutup satu sama lain maka tidak ada yang diperlukan untuk melakukan mitigasi. Namun, dicatat bahwa SS yang terganggu umumnya akan bergerak sampai jumlah user yang diakibatkan gangguan tersebut minimal. Tingkatan gangguan merupakan fungsi daya kirim semua SS yang ada dan level interferensi co-channel yang diterima. Interferensi BS-to-BS mempengaruhi sistem FDD pada UL dan sistem TDD yang berdekatan dengan band FDD DL. Hal ini terjadi ketika satu BS mengirim sekaligus menerima pada kanal berdekatan lain. Tidak seperti kasus SS-to-SS, interferensi BS-to-BS lebih deterministik. Namun, interferensi BS-to-BS berpotensi mempengaruhi semua pengguna cell dan lebih serius daripada interferensi SS-to-SS. Pendekatan kolokasi perangkat dapat diterapkan terhadap masalah interferensi BS-to-SS dan SS-to-BS pada kasus koeksistensi FDD-TDD. Namun, tanpa pengukuran tambahan, perangkat BS kolokasi sederhana berpotensi menimbulkan masalah BS-to-BS lebih buruk akibat jarak rapat pada sistem antena yang ada. Solusinya dapat menerapkan filter pengirim/penerima analog berperforma lebih tinggi. Solusi lain adalah pemilihan dan penempatan antena 'cerdas' untuk memperkecil kopling antar berbagai sistem antena yang ada. Contohnya mencakup pemakaian antena directional dengan separasi vertical dan penggunaan struktur bangunan sebagai shielding suatu antena terhadap antena lainnya.

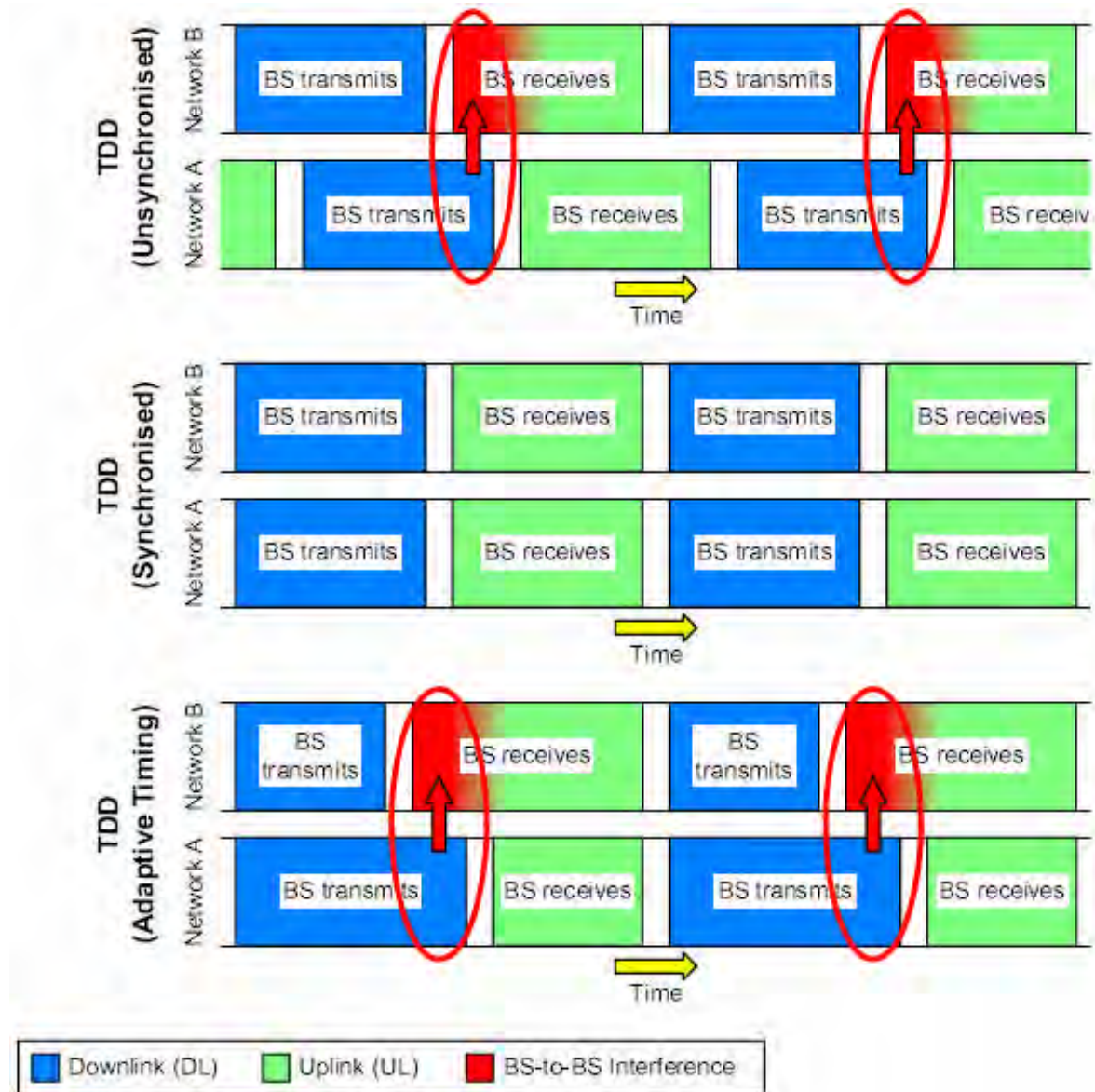
3.2.1.2 TDD-TDD

Koeksistensi TDD-TDD sangat mirip dengan skenario FDD-TDD beserta solusinya. Berikut ini merupakan metode mitigasi interferensi tambahan yang dapat diterapkan pada skenario TDD-TDD untuk menanggulangi masalah interferensi BS-to-BS dan SS-to-SS.

Pada sistem TDD, masalah interferensi muncul ketika satu perangkat mencoba untuk menerima sekaligus sinyal kirim lainnya. Namun demikian, jika timing sinyal kirim dan sinyal terima pada kanal adjacent sistem TDD dapat disinkronkan (yaitu dengan GPS, dengan struktur frame yang sama) maka banyak rute interferensi signifikan yang dapat dihilangkan.

Gambar 3.8 dibawah menunjukkan contoh interferensi BS-to-BS. Dengan BS-BS tanpa sinkronisasi maka sinyal kirim dari satu BS dapat mengejar sinyal terima BS lainnya. Dengan sinkronisasi timing sinyal kirim dan terima maka akan menghilangkan masalah di atas. Tentu hal tersebut bekerja hanya jika semua sistem memakai sistem timing bersama. Jika timing dipakai untuk menyesuaikan kebutuhan bandwidth maka hal ini tidak akan mungkin

menjadi solusi seperti ilustrasi Gambar 4 (bawah) dimana kemampuan sistem sinkronisasi akan terbatas dengan adanya pemakaian adaptive timing.



Gambar 3.8 Sinkronisasi sistem TDD untuk mitigate interferensi BS-to-BS (dan SS-to-SS) (atas dan tengah) dan Sinkronisasi dengan adaptive timing (bawah).

3.2.2 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Koeksistensi

Untuk dapat mengevaluasi teknik mitigasi yang mungkin terjadi, perlu dimengerti faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kemampuan sistem FDD dan TDD melakukan koeksistensi di dalam band frekuensi berdekatan. Faktor-faktor ini dibedakan atas faktor teknologi yaitu faktor yang terkait dengan perangkat radio yang ada dan faktor pengembangan yaitu faktor yang terkait dengan perencanaan dan implementasi pengembangan perangkat.

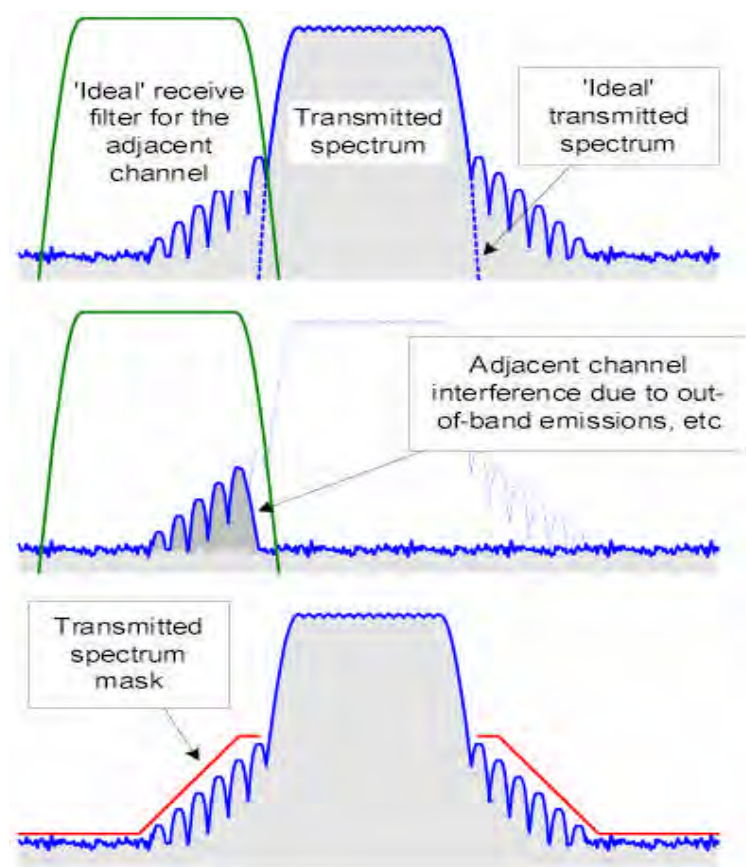
3.2.2.1 Faktor-faktor Teknologi [22]

Ada beberapa faktor terkait perangkat radio yang dapat mempengaruhi performa dalam scenario koeksistensi.

3.2.2.1.1 Level emisi *out of band* dan *spurious signal* Transmitter

Sumber utama ACI (adjacent channel interference) adalah *out-of-band emissions* (OOBE) dan sinyal *spurious* yang dihasilkan transmitter. Idealnya, 100% power output transmitter terdapat di dalam 'in band'. Namun kenyataannya tidak demikian akibat adanya pembatasan filter dan karakteristik tidak ideal perangkat (non-linearitas).

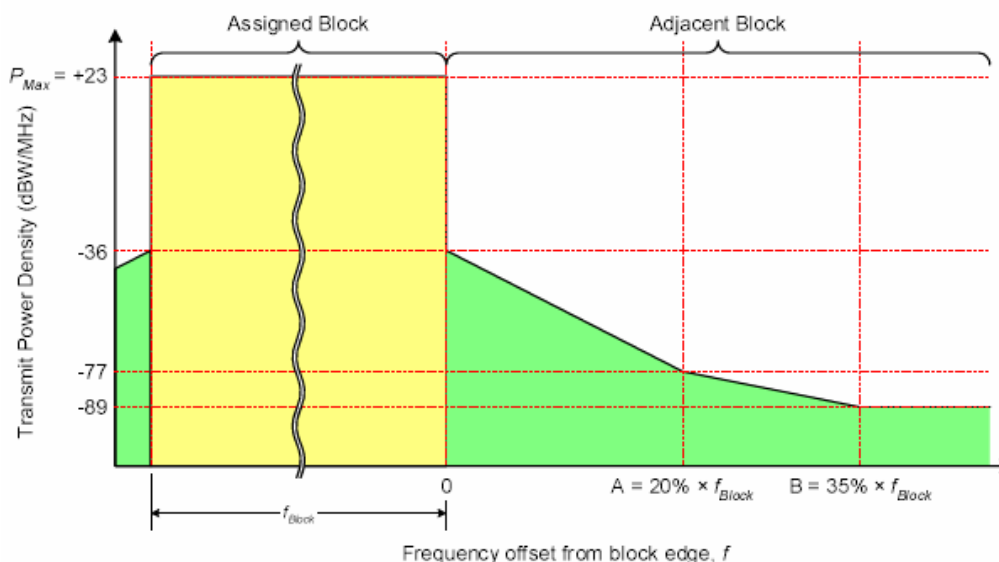
Umumnya OOBE mengacu pada daya yang diukur terhadap bandwidth yang diketahui sedangkan emisi *spurious* mengacu pada daya komponen spektrum yang tak diinginkan. OOBE dan emisi *spurious* di luar band Transmitter yang beroperasi pada satu jaringan, dapat menggambarkan interferensi in-band terhadap penerima pada jaringan lain. Bahkan dengan filter ideal sekalipun, receiver tidak dapat menghilangkan jenis interferensi ini. Pada Gambar 3.9 (atas), sebuah sinyal dikirimkan dengan OOBE yang signifikan. Di penerima, beberapa bagian daya yang dipancar tersebut melewati filter penerima (Gambar 3.9 - tengah). Daya ini akan mengurangi SIR sinyal yang diinginkan sehingga mengurangi sensitivitas penerima.



Gambar 3.9 Interferensi akibat emisi out-of-band (atas dan tengah) dan pemakaian pola spektrum untuk memenuhi syarat transmitter (bawah).

Untuk mengetahui masalah terkait OOB dan emisi spurios, banyak standar radio menentukan pola spektrum transmitter secara ketat. Dengan menjamin bahwa seluruh perangkat sesuai dengan pola ini, perencana jaringan dapat mengasumsikan skenario kasus terburuk saat menganalisa kemungkinan dampak sumber interferensi pada kanal berdekatan. Adalah memungkinkan bahwa pola transmisi yang lebih ketat dapat diterapkan pada perangkat. Sebagai contoh, OOB untuk transmitter FDD atau TDD tertentu dapat berada -30 dBc untuk adjacent channel pertama dan -50 dBc untuk adjacent channel kedua. Dengan memberikan biaya yang relative rendah, filter cavity band pass dapat menaikkan nilai ini 15 dB dan 40 dB. Sehingga transmitter dengan filtering dasar seharusnya dapat menekan OOB di bawah -45 dBc pada adjacent channel pertama dan -90 dBc pada adjacent channel kedua. Ukuran tertentu dari OOB dan emisi spurios adalah adjacent channel leakage ratio (ACLR), yang mengukur OOB pada adjacent channel dengan memperhatikan daya sinyal utama yang diinginkan (wanted signal).

Batasan OOB dapat diketahui dari karakteristik sinyal kirim maupun sinyal terima, dalam hal ini apakah level interferensi dapat ditoleransi sebelum degradasi sinyal menjadi tidak dapat diterima. Pada lingkungan netral teknologi, karakteristik teknologi radio tidak dikenal. Jika sistem mengoperasikan bandwidth kanal berbeda, maka konsep fixed guard band menjadi tidak praktis. Satu pendekatan adalah untuk menentukan pembatas OOB di dalam bentuk pola tepi blok ataupun pola sinyal umumnya. Jadi pola sinyal dengan pendekatan menghasilkan performa radio yang memungkinkan pemancaran daya rendah untuk jarak dekat, sedangkan *guard band* secara kaku mencegah akses terhadap band frekuensi terpilih. Bersama hal di atas, pemakaian spektrum yang lebih baik akan dapat diwujudkan. Pemakaian pola tepi blok direkomendasikan oleh ECC (Electronic Communication Committee), bagian dari CEPT (the European Conference of Postal and Telecommunications Administrations), pada Recommendation (04)05. Pola ini menggambarkan daya ke dalam bentuk 'assigned block' lisensi dimana daya tersebut dapat diradiasikan sampai sebelah spektrum. Roll-off yang ada sebanding dengan lebar 'assigned block' tersebut. Sehingga pola ini merupakan netral teknologi secara lengkap, yang membuat tanpa asumsi terhadap metode duplex atau bahkan bandwidth kanal.



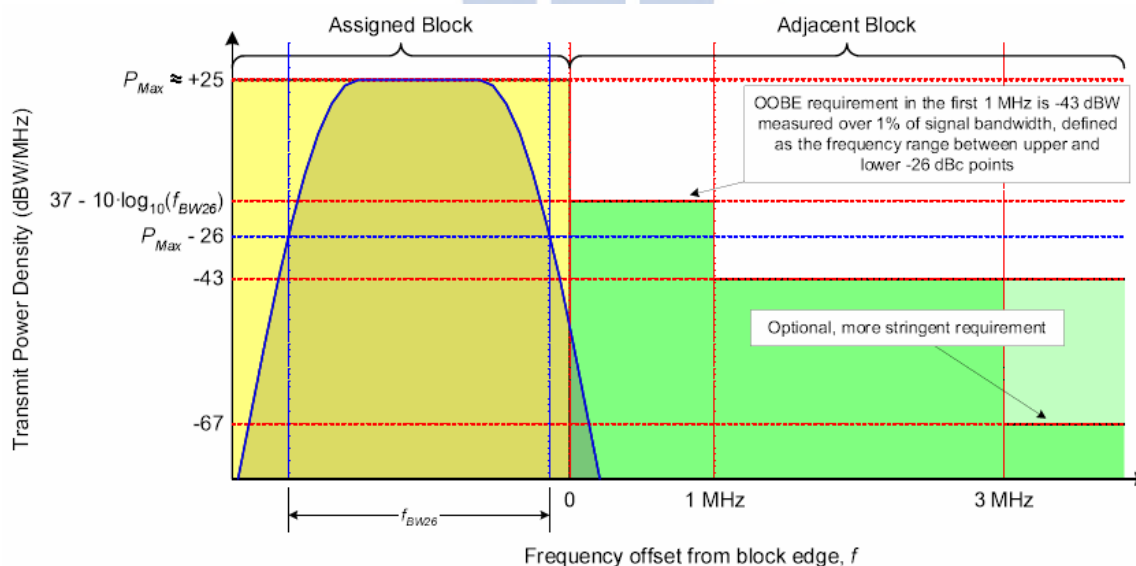
Gambar 3.10 Pola spektral density tepi blok BS berdasarkan ECC Recommendation (04)05.

Pola ini menentukan apakah daya dapat dipancarkan ke luar blok spektrum yang telah ditentukan bagi suatu operator. Berdasarkan karakteristik transmitter, operator dapat memeriksa pola ini dalam berbagai cara berikut :

- Pemakaian *self-imposed guard band* pada ‘assigned block’ sehingga sisa OOB berada di bawah pola yang ada.
- Mengatur transmitter beroperasi tertutup dari tepi blok untuk memancar dengan daya rendah, sehingga mengurangi OOB.
- Mengurangi OOB dengan peningkatan performa RF melalui perbaikan linieritas PA, pada transmitter yang beroperasi tertutup terhadap tepi blok.
- Memasang filter RF tambahan pada transmitter yang beroperasi tertutup terhadap tepi blok untuk menekan OOB sampai level yang dapat diterima.

Recommendation (04)05 menyatakan bahwa jika operator-operator blok frekuensi adjacent setuju bekerjasama maka kemudian level pada Gambar 3.10 tersebut dapat dilampaui melalui persetujuan bersama. Dalam prakteknya operator dapat mengurangi potensi interferensi di dekat batas blok melalui koordinasi rencana frekuensi.

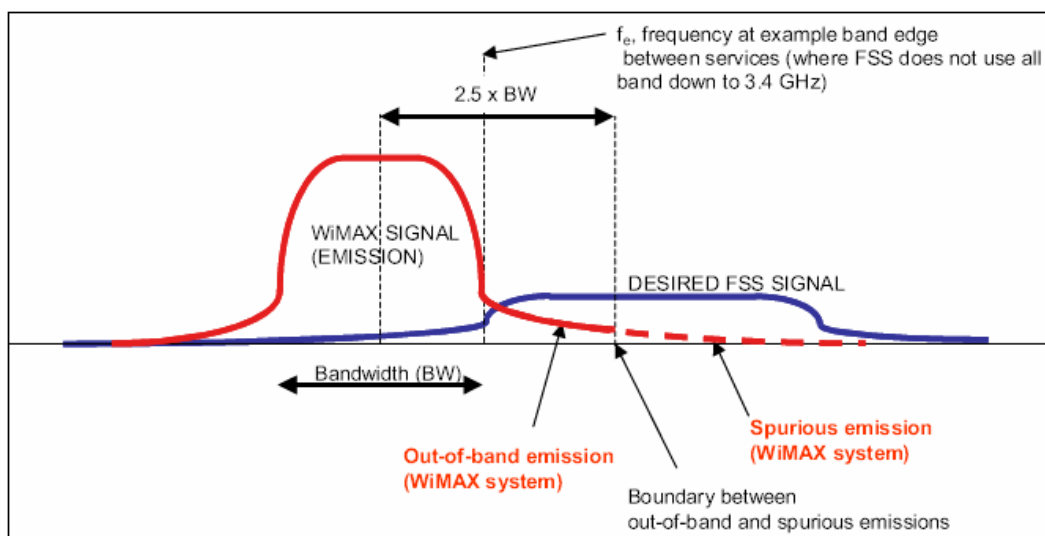
Untuk mengenali kebutuhan memaksimalkan spectral efficiency termasuk menghindari interferensi, FCC telah menggunakan pola ‘dual mask’ seperti gambar berikut ini.



Gambar 3.11 Interpretasi spesifikasi dual mask FCC

Pada sharing antara sistem WiMAX dan Stasiun Bumi dengan frekuensi operasi pada keadaan tidak co-channel, terdapat adanya efek emisi out-of-band dan kemungkinan saturasi LNA (low noise amplifier) Stasiun Bumi dari sistem WiMAX. Gambar 3.12

memperlihatkan emisi spurious yang ditentukan untuk contoh emisi WiMAX yang beroperasi pada carrier receiver satelit.

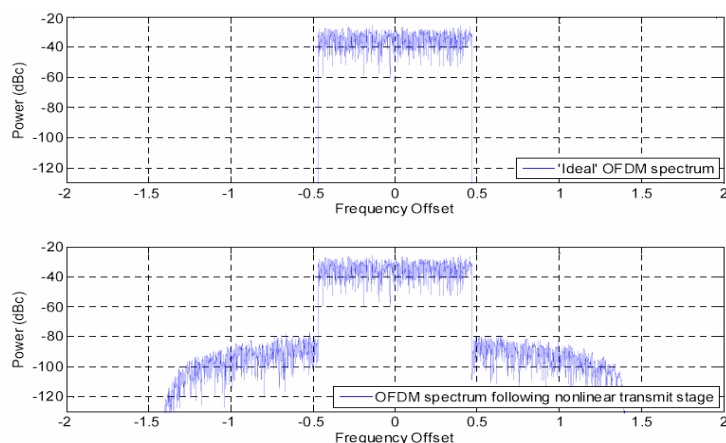


Gambar 3.12 Contoh emisi WiMAX yang beroperasi pada carrier receiver satelit.

3.2.2.1.2 Linieritas Transmitter

Sebagaimana dinyatakan di atas, satu faktor yang dapat berkontribusi terhadap OOB adalah karakteristik filter yang dapat dicapai pada aplikasi filter (khususnya jika mempertimbangkan untuk SS). Kontributor signifikan lainnya adalah non-linieritas sistem dan non-linieritas PA (power amplifier). Rendahnya konsumsi daya sering menjadi syarat kunci bagi transmitter wireless tertentu dan PA sering menjadi bagian PA yang boros daya. Meskipun memiliki efisiensi tinggi, PA non-linier dapat dipakai dengan skema modulasi *constant-envelope* seperti GMSK (Gaussian minimum shift Keying) sedang skema modulasi linier seperti OFDM membutuhkan pemakaian efisiensi yang lebih kecil berupa PA linier. PA 'linier' akan memperlihatkan sifat non-linier jika dibebani cukup keras. Perlu melakukan 'back off' terhadap daya output suatu PA linier untuk menjaga level non-linieritas agar tetap dapat diterima. Beberapa dari masalah ini dapat diatasi dengan teknik linierisasi yang dapat menaikkan efisiensi, namun teknik ini juga memiliki pembatasan. Namun demikian, kompromi harus ditemukan antara konsumsi daya terhadap non-linieritas dan OOB yang dihasilkan. Contoh sederhana tentang non-linieritas pengirim ditunjukkan Gambar 3.13. Gambar 3.13 (atas) memperlihatkan spektrum sinyal OFDM dengan carrier ideal 2048, tanpa

daya signifikan out-of-band. Pada Gambar 3.13 (bawah) sinyal yang sama ditambahkan dengan komponen orde ketiga untuk menunjukkan tingkah laku PA dengan karakteristik non-linier. IMP (intermodulation products) orde ketiga yang dihasilkan menghasilkan OOB, yang dapat mewakili daya interferensi terhadap user yang beroperasi pada kanal bersebelahan.



Gambar 3.13 Efek nonlinearitas pemancar ketika diterapkan skema modulasi linier OFDM

Gambar 3.13 menunjukkan pentingnya linieritas transmitter yang bagus ketika memakai skema modulasi linier seperti OFDM. Terdapat beberapa teknik digital yang dapat digunakan untuk memperoleh PA linier. Teknik-teknik ini dapat dikelompokkan dalam dua kategori. Pertama mencakup teknik yang mencoba untuk mengkompensir non-linieritas PA. Teknik ini memakai konsep seperti *pre-distorsi* atau *feed-forward correction* (atau kombinasinya). Kedua mencakup teknik yang menggunakan *metode novel* dalam mendrive amplifier non-linier. Satu contoh dari jenis teknik ini adalah modulasi polar. Kim dan Konstantinou telah menunjukkan perbaikan ACLR 11 sampai 13 dB jika menggunakan teknik *pre-distorsi* untuk melakukan *pre-distort* terhadap carrier UMTS. *Feed-forward correction* memakai amplifier berkualitas tinggi dengan 'error' ber daya rendah. Amplifier ini paralel dengan PA utama untuk menambah sinyal koreksi yang cocok bagi output PA utama dan mengurangi efek non-linier. Sebagai contoh, teknik ini dapat digunakan untuk memperbaiki linieritas amplifier kelas C antara 20 sampai 30 dB. Modulasi polar membagi sinyal yang diinginkan menjadi komponen fase dan amplitud. Informasi fase digunakan untuk menggerakkan VCO (voltage-controlled oscillator). Output amplifier ini kemudian

dimodulasi oleh informasi amplitude untuk mengontrol *envelope* sinyal yaitu dengan mengatur *bias* di bagian output. Seperti pada teknik pre-distorsi, performa dapat ditingkatkan dengan memakai feedback dari output menuju 'close the loop'. Modulasi polar telah berhasil dipakai pada sistem narrowband seperti EDGE, yang memakai skema modulasi 8-PSK pada kanal 200 kHz. Namun demikian, satu masalah pada teknik ini adalah pada bandwidth sinyal kontrol dan pada sinyal fase tertentu cenderung menjadi sangat besar.

3.2.2.1.3 Daya Pancar

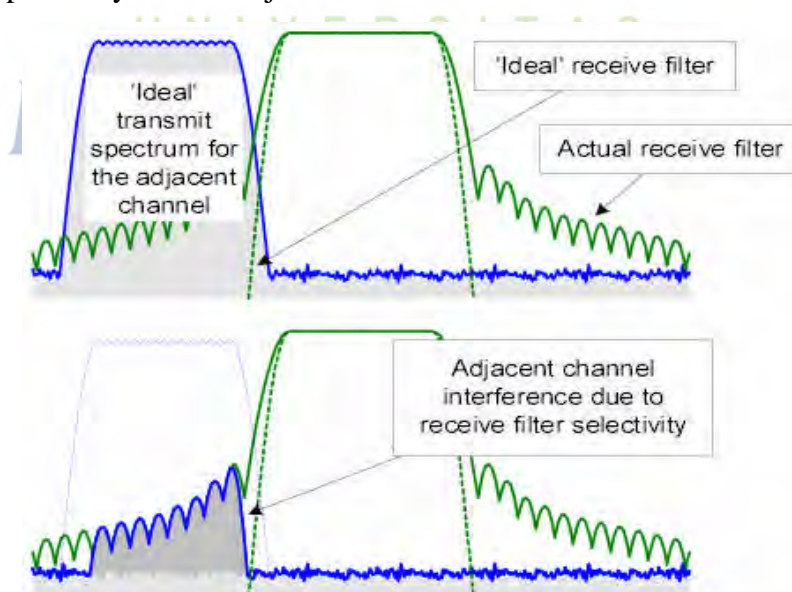
Untuk teknologi radio tertentu, daya kirim maksimum bervariasi sesuai kelas perangkat. Batasan ini penting untuk mengatur penggunaan kembali spektrum dan untuk membatasi level ACI (adjacent channel interference) pada receiver. Ketika mempertimbangkan pemakaian band netral teknologi, tidak ada batasan tertentu teknologi. Namun demikian, dibutuhkan metode yang jelas untuk pembatasan daya transmitter. Satu contoh bagaimana daya kirim maksimum dapat ditentukan secara netral teknologi terdapat dalam CFR (Code of Federal Regulations) 47CFR27.50(h) yang dikembangkan oleh FCC (Federal Communications Commission). Untuk BS yang mengoperasikan layanan BRS (broadband radio services) atau EBS (educational broadband services) di dalam band the 2150-2162 dan 2496-2690 MHz, EIRP tidak boleh melebihi formula berikut :

$$EIRP = 33 + 10 \cdot \log_{10} (X / Y) + 10 \cdot \log_{10} (360^\circ / \text{beamwidth}) \text{ dBW} \dots\dots\dots [3.1]$$

dimana X mewakili lebar kanal dalam MHz dan Y berharga 6.0 MHz untuk segmen band tengah atau berharga 5.5 MHz untuk segmen band bawah atau atas. Beamwidth mewakili beamwidth horizontal 3 dB (dalam derajat) antenna pengirim. Beamwidth antenna omnidirectional adalah 360°, yaitu istilah lain dari equal to zero. X menunjukkan bahwa persamaan tersebut menentukan psd (power spectral density) maksimum dengan suatu pengaturan untuk beamwidth antenna. X juga berarti bahwa *EIRP maksimum menanggung psd yang seragam*. Jika psd tidak seragam maka aturan tersebut menyatakan bahwa *daya pada bandwidth 100 kHz tertentu harus tidak lebih dari transmisi yang sama dengan EIRP ekuivalen*.

3.2.2.1.4 Selektivitas Receiver

Dalam mempertimbangkan performa receiver, parameter ekuivalen dengan OOB adalah selektivitas receiver. Idealnya filter penerima akan melewatkan band yang diinginkan. Namun, seperti filter bagian pengirim, filter pengirim ini tidak secara umum mampu dan penekanan sinyal diluar band akan terbatas. Selektivitas receiver bergantung pada kemampuannya menekan sinyal di luar band. Sebagai contoh Gambar 3.14 (atas) memperlihatkan output transmitter 'ideal' diterima pada posisi kanal adjacent. Idealnya filter penerima akan menghilangkan semua sinyal adjacent. Namun pada prakteknya filter ini tidak dapat menghilangkan sepenuhnya sinyal adjacent tersebut sehingga sebagian daya interferer pada kanal adjacent tersebut mencapai demodulator, seperti Gambar 3.14 (bawah). Daya ini akan mengecilkan SIR sinyal yang diinginkan sehingga mengurangi sensitivitas penerima. Umumnya selektivitas receiver dapat diperbaiki dengan peningkatan kompleksitas filter kanal baseband dan dengan penggunaan filter analog orde tinggi pada input RF. Namun kedua cara terakhir membutuhkan biaya yang lebih besar dan memerlukan konsumsi daya lebih tinggi dalam penerapan filter baseband tersebut. Namun demikian, para operator dapat memakai filter merk lain untuk masalah band adjacent ini, khususnya ketika dipilih teknologi berbeda, untuk mendapatkan selektivitas lebih baik dan biaya yang lebih murah Parameter selektivitas receiver adalah ACS (adjacent channel selectivity) yaitu besarnya redaman yang ditawarkan oleh receiver kepada sinyal kanal adjacent



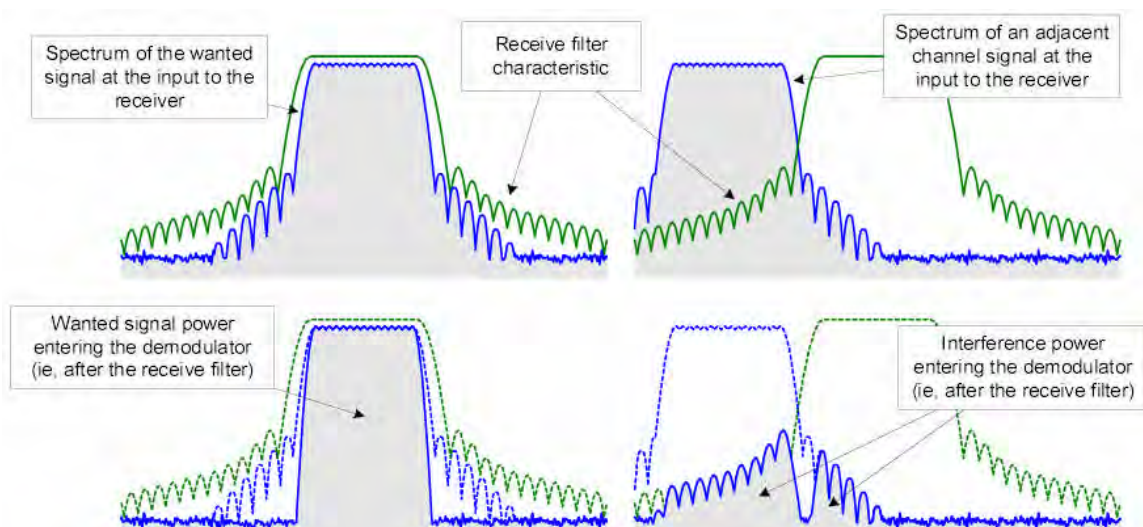
Gambar 3.14 Interferensi melalui selektivitas receiver non-ideal.

3.2.2.1.5 Performa bloking Receiver

Selektivitas receiver tergantung pada kemampuan receiver menghilangkan sinyal kanal adjacent. Seperti keterangan di atas, daya dari sinyal kanal adjacent yang tiba di demodulator akan mengurangi SIR dan sensitivitas penerima. Sensitivitas dibatasi oleh performa filter kanal baseband. Meskipun range frekuensi yang bisa masuk ke bagian ujung RF dibatasi oleh pemakaian bandpass filter RF analog, filter ini akan melewatkan range frekuensi yang luas. Biasanya bagian ujung RF akan menangani sinyal kanal adjacent dengan mudah. Namun demikian pada keadaan ekstrim (yaitu ketika dilakukan kolokasi perangkat transmitter yang beroperasi pada bandwidth filter RF) maka sinyal kuat kanal adjacent akan melakukan 'bloking' penerimaan *wanted signal* di input receiver. Bloking dapat terjadi jika sinyal interferensi memaksa receiver untuk mengurangi *gainnya*, pengurangan gain akan menurunkan sensitivitas. Jika gain ini tidak dikurangi dan bagian ujung RF mengalami kompresi, maka hasil intermodulasi tersebut merupakan daya signifikan interferensi in-band dan sinyal yang diinginkan akan menjadi penuh distorsi. Jadi performa bloking umumnya dibatasi oleh range dinamis bagian ujung RF analog. Performa bloking dapat ditingkatkan dengan dua cara. Usaha pertama dapat dilakukan untuk menaikkan *dynamic range* receiver dengan jalan memperbaiki titik kompresi 1 dB. Hal ini hanya dapat dilakukan terbatas dan menambah konsumsi daya pada amplifier. Pendekatan lain adalah dengan memperbaiki filtering RF, yaitu dengan mencegah sinyal band luar memasuki receiver. Kekurangan pendekatan ini adalah bertambahnya dimensi, kompleksitas dan biaya filter dan potensi *loss* akibat fleksibilitas frekuensi receiver.

3.2.2.1.6 Net filter discrimination (NFD)

Dalam prakteknya, performa receiver merupakan kombinasi dua hal yaitu SIR dan daya *adjacent channel* yang 'bocor' melalui bandstop filter receiver. SIR akan dikurangi oleh OOBE dari transmitter yang diterima bandpass filter receiver. Parameter performa total adalah NFD (net filter discrimination). NFD merupakan perkiraan daya *wanted signal* yang masuk ke demodulator (setelah filter penerimaan). Daya sinyal disini juga berasal dari *adjacent channel* yang dinormalisir menjadi daya *co-channel* ekuivalen. *Net filter discrimination* adalah rasio daya *wanted signal* (kiri atas) yang diterima demodulator (kiri bawah) terhadap sinyal ekuivalen *adjacent channel* (kanan atas) yang diterima demodulator (kanan bawah).



Gambar 3.15 *Net filter discrimination*

3.2.2.1.7 *Antenna discrimination (Interferensi BS-BS)*

Pada kolokasi perangkat BS, posisi antenna yang akurat akan membuat hasil yang bagus pada level isolasi yang dapat dicapai di antara berbagai antenna berbeda. Semua antenna memiliki pola radiasi non-isotropik yang bergantung pada frekuensi yang diberikan. Pada keadaan sangat khusus, banyak antenna memiliki pola radiasi 'null'. Pada keadaan ini pengarahannya (*direction*) antenna diamati terhadap *gain* maksimum. Jika sistem multi-antenna ditempatkan satu sama lain secara sederhana tanpa memperhatikan karakteristik setiap antenna, maka dapat terjadi kopling kuat antar antenna. Namun dengan penempatan akurat berbagai antenna berbeda tersebut (sehingga menghilangkan level isolasi antar antenna) maka pola *null* tersebut sering dapat dicapai.

Potensi meningkatnya isolasi antar sistem melalui *Antenna discrimination* akan menjadi lebih besar ketika pertimbangan link data point-to-point menggunakan antenna berpengarahan tinggi (*highly directional*). Pada keadaan ini, antenna akan memiliki *gain* forward tinggi dan *beamwidth* sangat sempit dan daya *sidelobe* akan berkurang dibanding daya pada *beam* utama (berbeda 30 dB) dan akan banyak pola *null* yang dapat dimanfaatkan. Sebagai catatan bahwa penggunaan banyak antenna *directional* dengan *beamwidth* lebih sempit maka juga akan membantu mengurangi kopling akibat pantulan energi RF di sekitar bangunan dan objek lain. Meskipun antenna *directional* lebih diutamakan, antenna sektor dengan *beamwidth* horizontal 120° memiliki *beamwidth* vertikal yang relatif sempit. Namun demikian, separasi antenna secara vertikal dapat digunakan untuk mendapatkan efek yang

bagus untuk mendapatkan isolasi yang bagus antar sistem, termasuk pada pemakaian antena sektor seluler. Ketika mempertimbangkan kolokasi sistem BS, penambahan separasi antar sistem antena dapat memiliki efek yang bagus terhadap isolasi antar sistem. Sebagai contoh separasi 3 m (10') bersesuaian dengan free-space loss sebesar 50 dB pada 2,5 GHz.

3.2.2.1.8 *Antenna discrimination (Interferensi BS-SS / SS-BS)*

Antenna discrimination juga dipakai untuk proses mitigasi interferensi BS-SS dan SS-BS. Ketika mempertimbangkan link fixed wireless point-to-point, maka seharusnya digunakan antena directional.

3.2.2.1.9 *Polarisasi Antena*

Output elektromagnetik antena dapat dipolarisasikan dalam beberapa cara. Polarisasi suatu antena merupakan feature desain yang diinginkan. Antena *multi-fed patch* dapat menghasilkan polarisasi berbeda bergantung pada teknik catuannya. Untuk kopling maksimum antar antena, bagian pengirim dan penerima antena semestinya memiliki polarisasi yang sesuai. Sebaliknya jika polarisasinya berbeda ('cross polarised') maka *loss* akan terjadi. Polarisasi dapat digunakan untuk meningkatkan isolasi antar antena pada kondisi kolokasi multi antena. Jadi, satu pendekatan dapat digunakan dimana sistem FDD menggunakan satu bentuk polarisasi sedang sistem TDD dengan polarisasi lainnya. Jika digunakan *cross* polarisasi, maka isolasi 10 sampai 15 dB akan diperoleh. Sebagai catatan bahwa meskipun polarisasi linier dapat digunakan secara efektif pada link radio line-of-sight (LOS) point-to-point, antena dengan diskriminasi rendah sering dibutuhkan bagi jaringan seluler yang butuh berkomunikasi dengan SS yang selalu berubah-ubah dan jaringan seluler yang beroperasi di dalam lingkungan *multipath* yang dapat memiliki efek random pada polarisasi sinyal penerimaan. [22]

Dalam praktek share sistem WiMAX-Satelit, beberapa manfaat dari isolasi polarisasi dapat dicapai melalui situasi tertentu secara kasus demi kasus. Jika stasiun ruang angkasa (space station) FSS menggunakan polarisasi sirkular tunggal (left-hand circular atau right-hand circular polarisation), pengurangan interferensi 3 dB dapat diharapkan ketika sistem WiMAX menggunakan sinyal terpolarisasi linier. Jika *space station* FSS menggunakan polarisasi linier, besarnya isolasi bergantung kepada besarnya sudut antara polarisasi emisi arah downlink FSS di lokasi receiver WiMAX dan pengaturan polarisasi (alignment) antena

Base Station WiMAX. Banyak satelit pada band ini menggunakan pemancaran dengan kedua polarisasi (orthogonal) untuk meningkatkan efisiensi spektrum. [21]

3.2.2.1.10 Teknik *Active interference cancellation*

Faktor-faktor sebelumnya merupakan factor yang terkait dengan hardware. Ada juga berupa beberapa hal yang terkait teknik DSP (digital signal processing) untuk meningkatkan kemampuan operasi ketika terdapat sinyal kuat interferensi. Dengan singkat, jika efek sinyal interferensi dapat dimodelkan dengan pengurangan sinyal interferensi dari sinyal yang diterima, maka SIR wanted signal dapat ditingkatkan.

3.2.2.2 Faktor-faktor Pengembangan

Faktor pengembangan berikut dapat juga mempengaruhi performa di dalam scenario koeksistensi :

- Lokasi BS

Lokasi relatif perangkat BS di dalam scenario koeksistensi dapat berdampak pada kemampuan koeksistensi berbagai sistem.

- Lokasi SS

Pada aplikasi link fixed wireless, SS dapat diperlakukan dengan cara yang sama dengan BS karena merupakan transceiver yang tetap bahkan sering menggunakan antena fixed. Pada mobile SS, penting mengontrol lokasi user relatif satu sama lain. Antena omnidirectional dengan gain rendah dibutuhkan untuk kasus ini. Di sini pemakaian teknik *antenna discrimination* merupakan hal yang tidak praktis.

- Penggunaan feature site untuk shielding

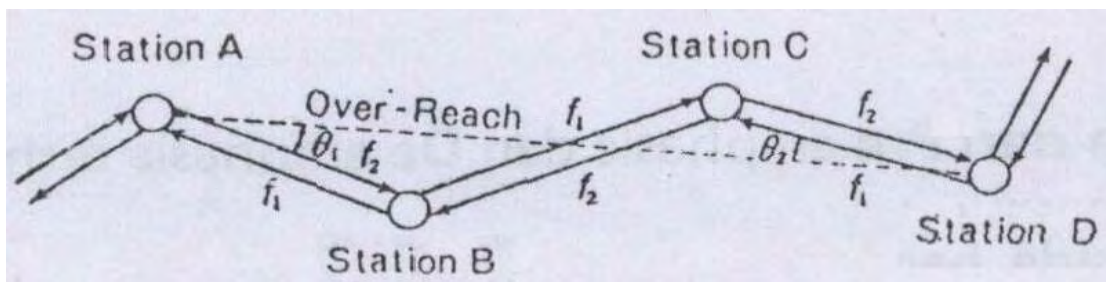
- Perencanaan frekuensi

- Kerjasama dan koordinasi antar operator yang meliputi Sinkronisasi TDD, koordinasi perencanaan frekuensi , koordinasi lokasi BS dan antenna.

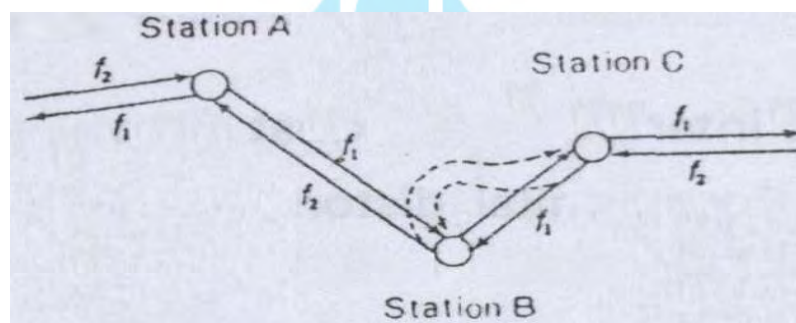
3.2.3 Mekanisme Interferensi dan Pengukurannya

Menurut definisi interferensi adalah akibat dari energi yang tidak dikehendaki (*unwanted*) yang disebabkan oleh satu kombinasi emisi, radiasi atau induksi terhadap penerimaan dalam sistem komunikasi radio, yang ditunjukkan dengan adanya suatu penurunan mutu, salah pengertian, atau hilangnya informasi, yang dapat diperoleh kembali

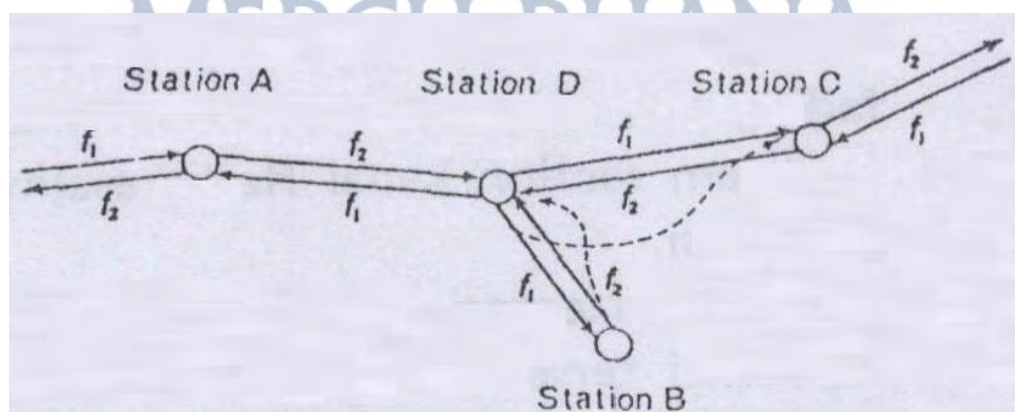
bila energi yang tidak dikehendaki tersebut dihilangkan. Antar sistem transmisi terrestrial, interferensi diklasifikasikan dengan melihat mekanisme jalur sistem dan perbedaan frekuensi. Beberapa gambar berikut ini memperlihatkan beberapa jenis interferensi pada sistem transmisi terrestrial [19] :



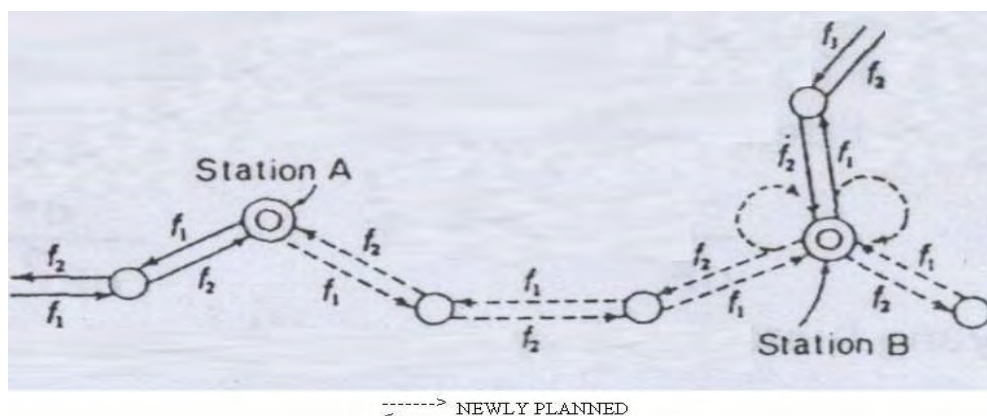
Gambar 3.16 Interferensi Over-reach



Gambar 3.17 Interferensi akibat Front to Back coupling



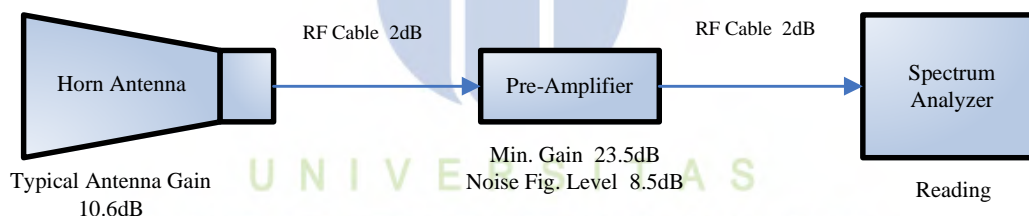
Gambar 3.18 Interferensi akibat Front to Side coupling



Gambar 3.19 Interferensi kolokasi akibat pembatasan jumlah hop radio

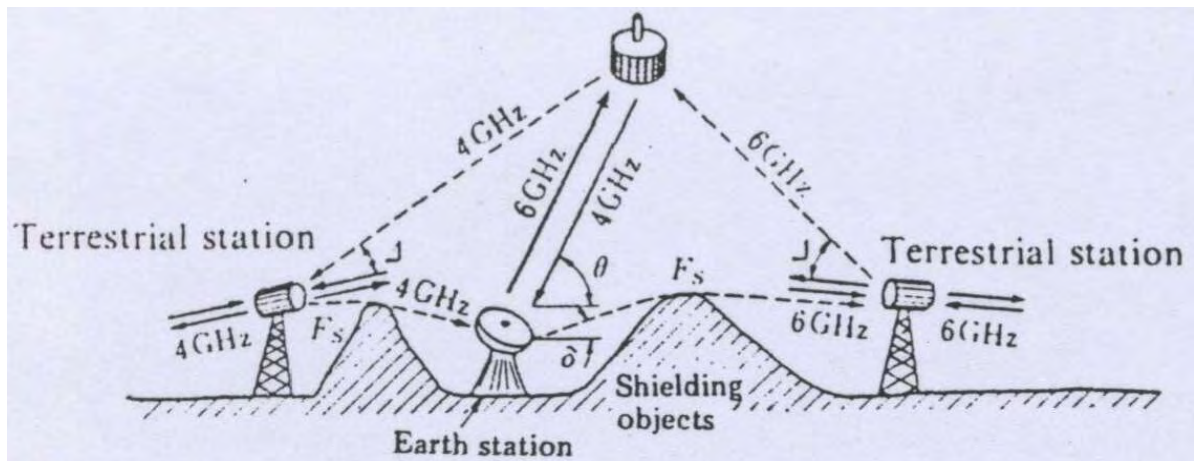
Sebelum melakukan implementasi, suatu operator dapat melakukan metode konvensional berupa *frequency scanning* guna mendeteksi potensi interferensi seperti gambar 3.20. Besarnya level penerimaan diperoleh dari dengan perhitungan berikut :

$$\text{RSL (dBm)} = \text{Spectrum Analyzer (dBm)} + \text{RF Cable Loss} \times 2 - \text{Pre-Amp Gain (dB)} - \text{Horn Ant. Gain (dB)} - \text{Pre-amp noise Level (dB)}$$



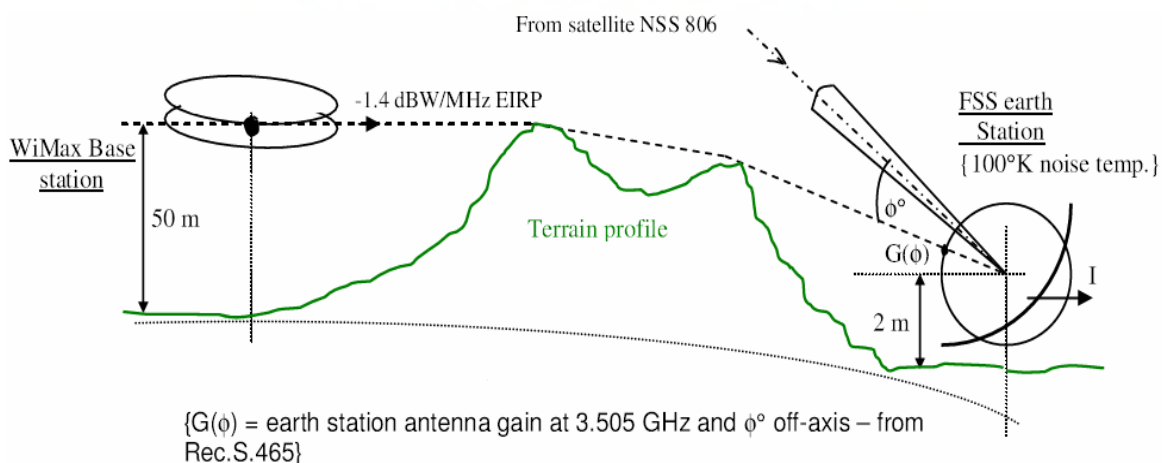
Gambar 3.20 Susunan perangkat Frekuensi Scanning [8]

Pada sistem komunikasi satelit, sebagian besar dari daerah frekuensi yang dialokasikan untuk satelit, dipakai juga oleh sistem komunikasi terrestrial seperti microwave. Penggunaan bersama ini menjadikan masalah interferensi perlu mendapat perhatian besar. Gambar 3.21 menunjukkan contoh interferensi yang dapat terjadi antara sistem komunikasi satelit dengan sistem terrestrial pada band 4/6 GHz, yaitu antara stasiun bumi, microwave dan satelit.



Gambar 3.21 Interferensi antara sistem komunikasi satelit dan terrestrial [18]

Bila sebuah stasiun bumi dan sebuah stasiun terrestrial betul-betul memakai bersama satu frekuensi tertentu dan terdapat kemungkinan untuk saling mengganggu maka suatu pengaturan koordinasi di antara keduanya harus dilakukan. Mengurangi interferensi dapat dilakukan dengan menekan sidelobe (cuping samping) antena dan stasiun terrestrial harus ditempatkan demikian rupa sehingga berkas utama antenanya tidak mengarah ke stasiun bumi dan satelit. Contoh ilustrasi untuk pengujian interferensi aktual antara FSS dan sistem WiMAX diperlihatkan dengan gambar 3.22 dan 3.23.



Gambar 3.22 Ilustrasi pengujian interferensi



Gambar 3.23 Contoh hasil pengujian interferensi WiMAX-Satelit

Dalam sharing system WiMAX-Satelit, kriteria interferensi in-band yang dapat diterima adalah sebesar :

$$I_{inband} = C - (C/N) + (I/N) \text{ dBW} \dots\dots\dots[3.1a]$$

dengan C adalah level sinyal carrier FSS yang diterima dan besarnya I/N mengacu pada ITU-R S.1432 [27].

Dalam kondisi saturasi, besarnya level interferensi maksimum yang diperbolehkan pada ujung penerima FSS sebelum saturasi atau overloaded ($I_{saturation}$) adalah sebesar -60 dBm.

Kemudian besarnya pathloss dihitung berdasarkan Rekomendasi ITU-R P.425 dengan formula :

$$L_{BWA}(d) = 92.5 + 20 \log(f) + 20 \log(d) + A_h \text{ dB} \dots\dots\dots[3.1b]$$

Dimana

- (i) f : frekuensi sinyal (GHz)
- (ii) d : jarak (km)
- (iii) A_h : rugi-rugi clutter (dB) berharga 0 dB untuk propagasi ruang bebas dan 18.5 dB untuk area dense urban

Berdasarkan Rekomendasi ITU-R SF.1486 , level interferensi (I) yang diterima sistem FSS dari BWA :

$$I = e.i.r.p._{BWA} - L_{BWA}(d) + G_{VS}(\alpha) - R \text{ dBW} \dots\dots\dots[3.1c]$$

dimana :

- (i) $e.i.r.p._{BWA}$: EIRP off-axis antenna BWA (dBW).
- (ii) $L_{BWA}(d)$: path loss antara the FSS and BWA (dB)
- (iii) $G_{VS}(\alpha)$: gain off-axis antenna penerima FSS (dBi)
- (iv) R : isolasi yg dicapai site shielding (dB)

Dari beberapa formula di atas, maka jarak separasi antara sistem BWA (WiMAX) dengan FSS adalah :

$$20\log(d) = -I + e.i.r.p._{BWA} - 92.5 - 20\log(f) - A_h + G_{VS}(\alpha) - R \dots\dots\dots[3.1d]$$

Dengan I adalah besarnya I_{inband} dan $I_{saturation}$.

Hasil perhitungan jarak separasi WiMAX-FSS yang dilakukan APT tertera pada Tabel 4.8 [27].

3.2.3 Koordinasi dan Mitigasi Interferensi pada Koeksistensi WiMAX - Satelit

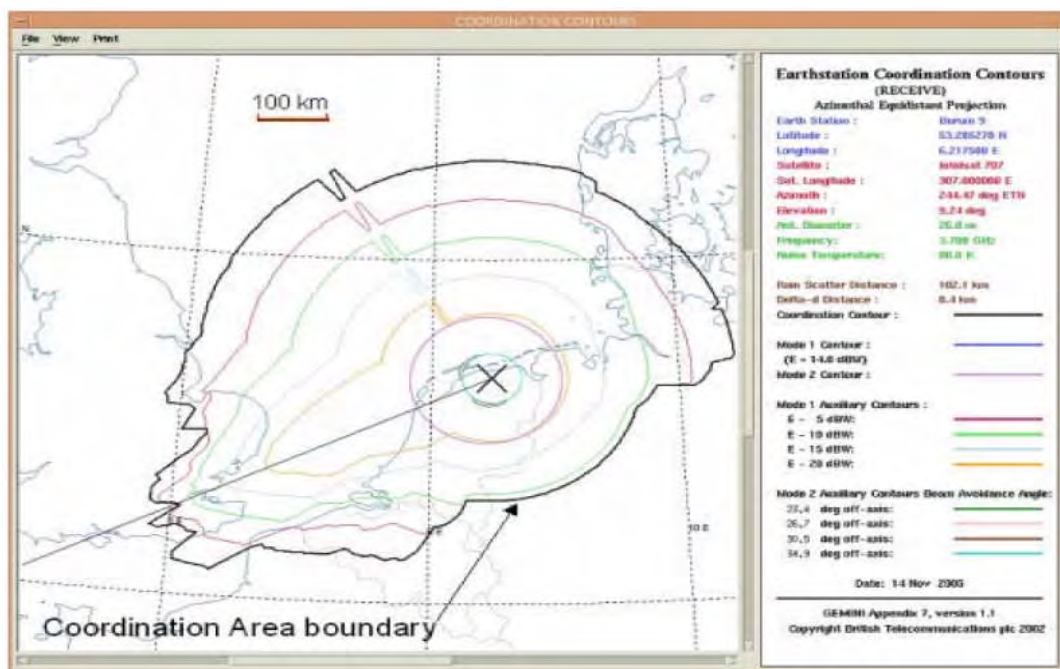
3.2.3.1 Daerah Koordinasi

Untuk arah penerimaan Stasiun Bumi, daerah koordinasi menggambarkan area yang melingkupi sharing frekuensi Stasiun Bumi dengan stasiun terestrial dimana pada area ini level interferensi mungkin melampaui harga yang diijinkan sehingga koordinasi dibutuhkan. Daerah koordinasi ditentukan berdasar karakteristik koordinasi Stasiun Bumi dan berdasar asumsi propagasi gelombang dan parameter sistem stasiun terestrial yang memiliki sharing frekuensi.

Prosedur tersebut membolehkan penentuan jarak pada seluruh arah azimuth penerima Stasiun Bumi. Jarak disini disebut *Jarak Koordinasi (coordination distance)*. Jika Jarak Koordinasi ditentukan untuk setiap azimuth sekeliling koordinasi Stasiun Bumi maka jarak di sini merupakan jarak kontur bumi, disebut *coordination contour*. Penting dicatat bahwa meskipun penentuan daerah koordinasi didasarkan pada kriteria teknis, tetapi definisi ini mewakili konsep regulasi.

Sebagai contoh ilustrasi Gambar 3.24 menunjukkan daerah koordinasi disekeliling Stasiun Bumi Burum Belanda pada band 3,6-3,8 GHz. Sistem terestrial yang dipilih pada contoh ini adalah sebuah sistem BWA dengan EIRP maksimum 14 dB(W/MHz) yang merupakan batas atas untuk sistem FWA pada band ini. Untuk melindungi sistem BWA dan semua stasiun bumi lain dari kemungkinan interferensi akibat kondisi transmisi tertentu dari berbagai jaringan yang ada maka koordinasi diperlukan yaitu jika transmitter-transmitter jaringan BWA masuk ke dalam daerah yang ditunjukkan oleh garis hitam pada gambar.

Operasional sistem tetap mungkin dilakukan meski sistem BWA berada di dalam daerah koordinasi. Pada contoh ini, daerah koordinasi dipengaruhi oleh anomali mekanisme propagasi “Mode 1” (ducting, dan lain-lain). Kontur berwarna di bagian dalam menggambarkan area pengurangan nilai EIRP. Di sini kebutuhan tanpa koordinasi hanya terjadi ketika EIRP berkurang antara 15dB sampai 20 dB. Dalam hal ini teknik mitigasi yang dapat dilakukan adalah dengan membatasi pointing antena sektoral Base Station dalam arah Stasiun Bumi.



Gambar 3.24 Contoh Daerah Koordinasi di sekeliling Stasiun Bumi Burum Belanda untuk sharing dengan sistem WiMAX [21]

Besarnya interference-to-noise ratio (I/N) pada masukan receiver Base Station ditentukan dari formula berikut :

$$\frac{I}{N} = pfd(\delta) + Gr(\theta, \phi) + 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) - FL - N \quad \text{dB} \quad \dots \dots \dots [3.2]$$

Dengan :

$pfd(\delta)$: power flux density pada permukaan bumi untuk sudut datang , δ , di atas garis horizontal dalam $\text{dB(W.m}^{-2}\text{)}$ pada bandwidth referensi 4 kHz;

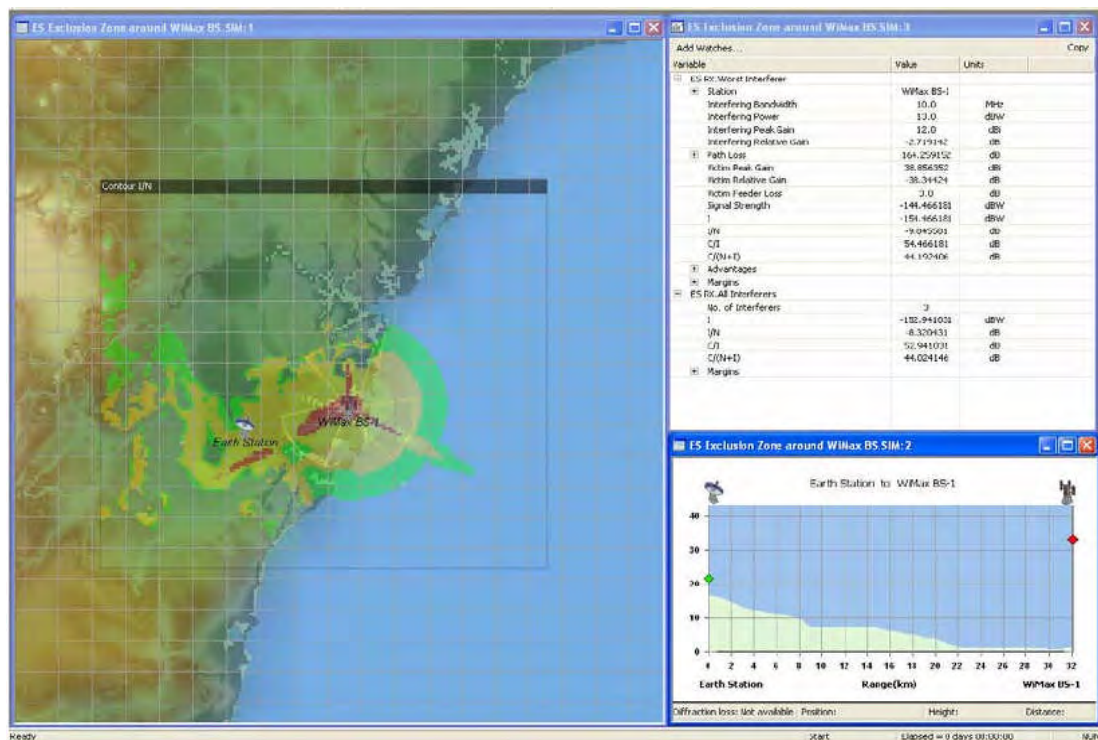
$Gr(\theta, \phi)$: gain antena sektoral penerima base station dalam arah satelit (pada sudut off-axis θ, ϕ dalam bidang elevasi dan azimuth);

λ : panjang gelombang (meter);

FL : Feeder loss (dB);

N : noise receiver pada 4 kHz reference bandwidth (dBW)

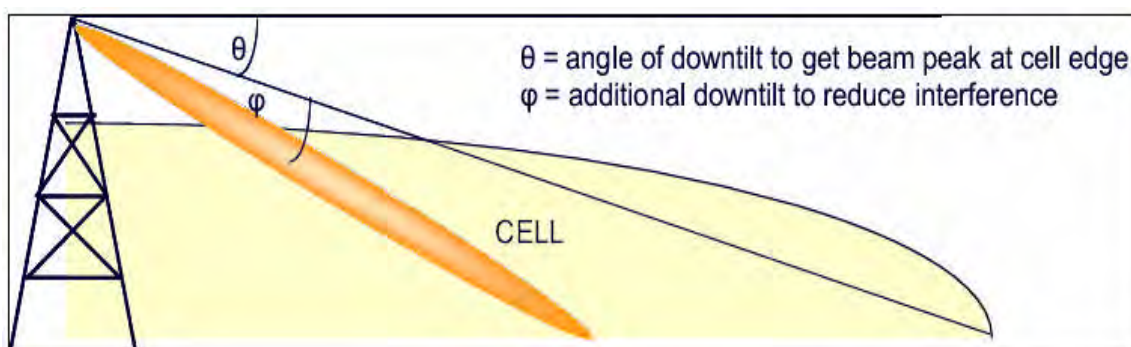
Untuk kalkulasi, I/N dihitung dengan sudut elevasi satelit sebesar 0° dimana sistem satelit berada tepat di pusat *beam* antena sektor base station, yaitu lokasi dimana *gain* antena sektor base station berharga maksimum. Gambar 3.25 memperlihatkan contoh *countur* koordinasi antara sistem WiMAX dan Stasiun Bumi dengan memperhatikan ketentuan I/N yang ada.



Gambar 3.25 *Countur* koordinasi antara sistem WiMAX - Stasiun Bumi [38]

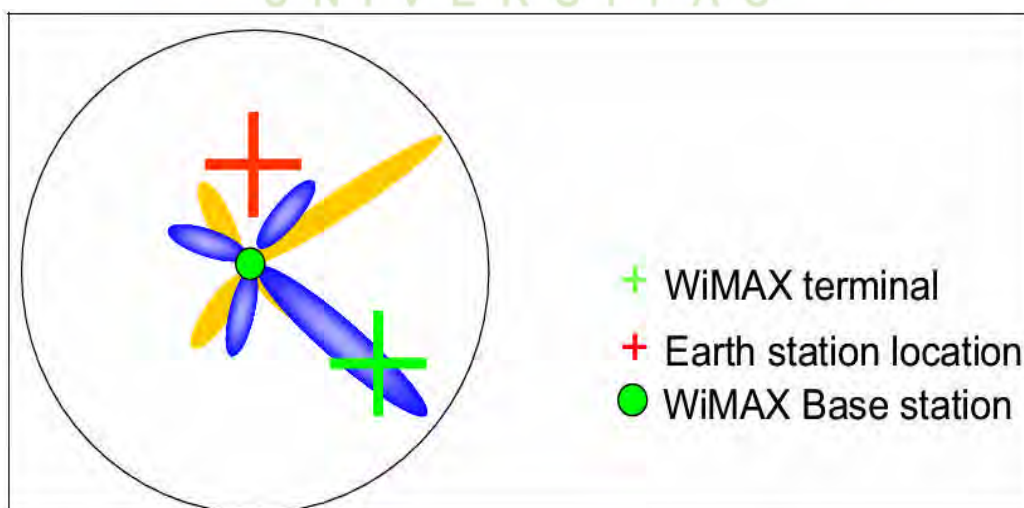
3.2.3.2 Teknik Mitigasi pada Base Stasiun WiMAX [21]

- *Antena downtilting pada Base Stasiun WiMAX* . Seperti Gambar 3.26 , efek downtilt pada antena BS WiMAX bermanfaat bagi sharing di dalam suatu sistem (intra-service) dan sharing antara Base Stasiun dan Stasiun Bumi ketika pada umumnya keduanya diletakkan di atap (rooftop). Manfaat akan berkurang, ketika terminal Stasiun Bumi diletakkan pada permukaan bumi untuk menambah shielding dari sumber interferensi dari pemakaian sumber interferensi lokal.



Gambar 3.26 Pengurangan Interferensi dengan Antena Downtilt Base Stasiun WiMAX

- *Restricted coverage:* Tanpa penggunaan coverage sectoral penuh pada site Base Stasiun WiMAX, maka Stasiun Bumi pada lokasi yang diketahui dapat dilindungi dari emisi Base Stasiun WiMAX. Kepedulian akan dibutuhkan untuk membayar emisi terminal WiMAX pada daerah sektor aktif yang dapat secara acak memancar menuju Stasiun Bumi. Banyaknya base stasiun bertambah jika coverage diperluas. Pembatasan EIRP pada arah tertentu (yaitu pada sector tertentu) juga memungkinkan.
- *Pemakaian adaptive antenna pada base stasiun WiMAX.* Pada Gambar 3.27 pemakaian *beam-steering* pada adaptive antenna Base Stasiun WiMAX dapat membantu untuk menjamin bahwa arah tertentu dari objek yang terkena interferensi seperti stasiun bumi- akan dapat dihindari. Tentu hal ini hanya terjadi jika stasiun bumi diregister dan lokasinya dikenali.



Gambar 3.27 Pengurangan interferensi dengan penggunaan beam-steering antenna BS WiMAX

3.2.3.3 Teknik Mitigasi pada Stasiun Bumi Satelit [21]

- *Site Shielding*: Antena C-band pada site gateway utama dapat berdiameter sangat besar (8 – 15 meter dan dapat sampai 32 meter). Gambar 3.28 dan 3.29 memperlihatkan contoh shielding C-band buatan di Caracas, Venezuela dan di Amerika Utara. Pelindung ini memungkinkan proteksi dua arah dari dan ke link point to point pada fix service. Layar penghalang (screen) dengan desain yang baik berharga cukup mahal dan tidak ekonomis uuntuk diterapkan saat ini, khususnya untuk proteksi antena tunggal. Terdapat sedikit kemungkinan bahwa teknik ini dapat diaplikasikan pada antena kecil meskipun beberapa manfaat dapat dilakukan dengan pelindung ground setempat atau dengan penghalang (obstacle) yang dipasang di atap/rooftop (Gambar 3.30) jika arah sumber interferensi diketahui. Namun demikian, tanpa shielding sekelilingnya maka efektifitas sistem ini cenderung berkurang akibat scattering dan refleksi pada lingkungan multipath tiga dimensi di daerah urban dan suburban.
- *Pemakaian front-end filtering untuk service yang tidak beroperasi secara full band* Stasiun Bumi harus dapat menerima porsi band FSS yang dialokasikan dimanapun (misal 3625-4200 MHz di Brazil) . Fron-end filtering yang baik di receiver stasiun bumi dapat membantu pengembangan sistem WiMAX di bagian band rendah,terutama sekali saat stasiun bumi digelar dimana-mana dan lokasinya tanpa diregistrasi ke pemerintah.



Gambar 3.28 Penggunaan Mesh screening sebagai interference shielding di Caracas



Gambar 3.29 Optimised shielding screen di AS



Gambar 3.30 Local building clutter sekeliling terminal C-band VSAT di Harare, Zimbabwe