

STUDI SHARING IMT DAN FSS PADA PITA 3,4-4,2 GHz

Oleh :
Tim Peneliti Puslitbang SDPPI



Puslitbang Sumber Daya, Perangkat, dan Penyelenggaraan Pos dan Informatika
Badan Penelitian dan Pengembangan SDM
Kementerian Komunikasi dan Informatika
Tahun 2018

STUDI SHARING IMT DAN FSS PADA PITA 3,4-4,2 GHz

Pengarah:

Dr. Ir. Basuki Yusuf Iskandar, M.A.

Penanggung Jawab:

Ir. Bonnie M. Thamrin Wahid, MT

Koordinator Penelitian:

Diah Yuniarti

Tim Penyusun:

Diah Yuniarti, Kasmad Ariansyah, Vidyantina Heppy A., Amry Daulat Gultom, Sri Ariyanti, Wirianto Pradono, Wardahnia, Reza Bastanta S., Seno Tribroto, Azwar Aziz

Jakarta : Badan Litbang SDM, ©2018

viii + 50 Halaman; 18 x 25 cm

ISBN: 978-602-51136-3-5

Penyunting/Editor:

Eyla Alivia Maranny, Harjani Retno Sekar H., Aldhino Anggorosesar

Kontributor/Narasumber:

Dr. Khoirul Anwar, Prof. Fitri Yuli Zulkifli, Prof. Adit Kurniawan, Imam Nashiruddin, Direktorat Operasi Sumber Daya ASSI, Direktorat Penataan Sumber Daya, Direktorat Pengendalian SDPPI, Direktorat Pengendalian PPI, Bakti, ASSI, PT. Patrakom, PT. Icon+, PT. Unisat

© Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit

Penerbit:

Puslitbang Sumber Daya, Perangkat, dan Penyelenggaraan Pos dan Informatika
Badan Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Manusia
Kementerian Komunikasi dan Informatika
Jl. Medan Merdeka Barat No. 9, Jakarta 10110, Telp./Fax. 021-34833640
Website: <http://balitbangsdm.kominfo.go.id>

Ringkasan Eksekutif

Rentang pita frekuensi 3,3—4,2 GHz merupakan salah satu kandidat spektrum pita tengah di bawah 6 GHz untuk teknologi 5G. Jumlah spektrum dalam rentang frekuensi ini, yang dimanfaatkan oleh teknologi telekomunikasi bergerak internasional (IMT), akan mampu memberikan peningkatan kapasitas dan pengalaman yang lebih baik kepada para pengguna. Di Indonesia, berdasarkan Peraturan Menkominfo Nomor 25 Tahun 2014 mengenai Tabel Spektrum Frekuensi Radio Indonesia (catatan kaki INS28 dan INS29), rentang frekuensi 3,4—4,2 GHz (*downlink*) diutamakan untuk dinas satelit tetap atau FSS. Stasiun bumi untuk layanan FSS pada rentang frekuensi tersebut cukup masif digunakan, terutama untuk layanan perbankan dan *Direct to Home* (DTH).

Penelitian ini mengkaji potensi *sharing* frekuensi antara IMT-2020 (teknologi 5G) dan FSS, dilihat dari *benchmark* negara lain terkait kebijakan dan identifikasi, analisis interferensi IMT-2020 dan FSS, dan dampak ekonomi *sharing* IMT dan FSS pada pita 3,4—4,2 GHz. Hasil *benchmark* menunjukkan bahwa beberapa negara di Region III, yaitu Indonesia, Malaysia, Thailand, Vietnam, dan Papua Nugini, tidak melakukan identifikasi pita 3,4—4,2 GHz untuk IMT, disebabkan kondisi geografis di negara-negara tersebut, di mana curah hujan relatif tinggi, dan penggunaan C-band yang masif untuk FSS. Potensi *co-channel sharing* tidak memungkinkan untuk dilakukan, terutama di kota-kota besar, karena *separation distance* yang cukup besar, sementara jumlah stasiun bumi *existing* cukup masif. Di sisi lain, *adjacent channel sharing* dapat dilakukan dengan beberapa kondisi.

Jakarta, Oktober 2018

Tim Peneliti





Kata Pengantar

Assalamu'alaikum wr. wb.

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan sekaligus memublikasikan buku "Studi *Sharing* IMT dan FSS pada Pita 3,4—4,2 GHz".

Dalam menyusun buku ini, penulis banyak memperoleh bantuan serta bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Basuki Yusuf Iskandar, selaku Kepala Badan Litbang SDM, Kementerian Komunikasi dan Informatika;
2. Bapak Bonnie M. Thamrin Wahid, selaku Kepala Puslitbang SDPPPI, Kementerian Komunikasi dan Informatika;
3. Pejabat Eselon III dan Eselon IV di lingkungan Puslitbang SDPPPI Kemkominfo yang telah memberikan arahan dan masukan yang berguna bagi studi ini;
4. Para Peneliti dan Staf Pendukung di lingkungan Badan Litbang SDM Kemkominfo;
5. Suami dan anak-anak tercinta yang selalu mendukung, mendoakan, memberikan bantuan baik morel maupun materiel, dan memberikan keceriaan;
6. Seluruh teman yang telah banyak membantu penulis.

Penulis menyadari bahwa penyusunan buku ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun guna sempurnanya buku ini.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Jakarta, Desember 2018

Tim Peneliti





Daftar Isi

Ringkasan Eksekutif	i
KATA PENGANTAR	iii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	v
Daftar Tabel	vi
Daftar Gambar	vii
Latar Belakang	1
Landasan Teori	3
<i>IMT-2020</i>	3
FSS	3
Pita Frekuensi <i>C-band</i>	4
<i>Fixed Satellite Service (FSS)</i> pada Frekuensi <i>C-band</i>	5
<i>Interferensi</i>	12
Penelitian Sejenis	13
Benchmark Kebijakan Negara Lain pada Pita 3,4—4,2 GHz	22
Negara Region 3 yang Tidak Melakukan Identifikasi IMT pada <i>C-Band</i>	22
Negara Region 3 yang Melakukan Identifikasi IMT Pada <i>C-Band</i>	24
Kebijakan Identifikasi IMT pada <i>C-Band</i> oleh Negara di Luar Asia	29
Pemetaan Global Identifikasi PITA 3,4-3,7 GHz untuk IMT	30
Analisis Interferensi IMT-2020 dan FSS	32
<i>Co-Channel Interference</i>	32
<i>Adjacent Channel Interference</i>	34
DAMPAK BISNIS DAN EKONOMI SHARING IMT DAN FSS	36
Implikasi <i>Sharing</i> FSS dan IMT di Indonesia	36
Pembahasan	41
Kesimpulan dan Rekomendasi	43
Kesimpulan	43
Rekomendasi	44
Daftar Pustaka	45



Daftar Tabel

Tabel 2.	Spesifikasi Teknis IMT-Advanced dan IMT 2020 (5G).....	3
Tabel 2.	Parameter Sistem FSS dari Satelit Menuju Stasiun Bumi	9
Tabel 3.	<i>Minimum Cull Distance</i> BWA dan FSS.....	28
Tabel 4.	Indonesia: Jumlah Terminal V-SAT C-Band Aktif, 2014	38
Tabel 5.	Pertumbuhan Jumlah Mesin ATM Perbankan	38
Tabel 6.	<i>Satellite-Based Pay-TV Platforms Broadcasting Their Channels in C-Band</i>	40

Daftar Gambar

Gambar 1.	IMT Standards Evolution toward 5G (Murara, n.d.)	3
Gambar 2.	Elemen Utama Sistem Komunikasi Satelit (Elbert, 2008)	5
Gambar 3.	Jaringan VSAT dengan Topologi Star (ITU-R, 2013)	7
Gambar 4.	Jaringan VSAT dengan Topologi Mesh (ITU-R, 2013)	8
Gambar 5.	Jaringan VSAT dengan Topologi (ITU-R, 2013)	9
Gambar 6.	Persentase Pemanfaatan Frekuensi mmWave di Malaysia (Hassan et al., 2017) <i>the international telecommunication union</i> (ITU)	14
Gambar 7.	Potensi Interferensi IMT-2020 terhadap ISS (Tan et al., 2017)	15
Gambar 8.	Skenario Interferensi dari IMT-2020 terhadap Automotive Radar (ECC, 2017a)	16
Gambar 9.	Skenario Interferensi IMT-2020 terhadap SRS (Chen et al., 2018)	17
Gambar 10.	Interferensi Tunggal BTS 5G terhadap Stasiun Bumi FSS (Guidolin, Nekovee, Badia, & Zorzi, 2015)	18
Gambar 11.	<i>Multiple Interference</i> dari 5G terhadap FSS (Guidolin et al., 2015)	18
Gambar 12.	Skenario Interferensi dari Stasiun Bumi FSS terhadap 5G (Guidolin & Nekovee, 2015)	19
Gambar 13.	Batas Area Interferensi dari 5G BTS ke Stasiun Bumi EESS (ECC, 2017b)	20
Gambar 14.	Batas Area Interferensi dari 5G UE ke Stasiun Bumi EESS (ECC, 2017b)	20
Gambar 15.	Topologi Co-existence 5G dan FSS (Kim et al., 2017)	21
Gambar 16.	Pengaruh Sudut Penginterferensi dan Stasiun Bumi FSS terhadap Jarak Proteksi.....	32



Gambar 17.	Pengaruh Eirp terhadap Jarak Proteksi	33
Gambar 18.	Pengaruh Jumlah Penginterferensi terhadap Jarak Proteksi	33
Gambar 19.	Ilustrasi <i>Co-Channel Sharing</i> pada Sampel Provinsi (a) Sumatera Utara dan (b) Papua Barat.....	34
Gambar 20.	Pengaruh Sudut Penginterferensi dan Stasiun Bumi FSS terhadap Jarak Proteksi	35
Gambar 21.	Pengaruh Sudut Penginterferensi dan Stasiun Bumi FSS terhadap Jarak Proteksi	35
Gambar 22.	Perbandingan Pita Frekuensi	36
Gambar 23.	Sumber Redaman Hujan	37
Gambar 24.	Rumah Tangga TV dengan Jenis Penerimaan	40

Latar Belakang

Traffic pengguna *mobile data* untuk layanan akses Internet senantiasa mengalami peningkatan dari tahun ke tahun, terutama untuk penggunaan layanan *mobile broadband*, dibandingkan dengan layanan *fixed broadband*. Seiring dengan hal tersebut, teknologi telekomunikasi seluler terus mengalami perkembangan signifikan, ditandai dengan riset-riset terkait dengan *next generation network* (NGN) atau 5G. Kebutuhan data yang mendukung berbagai aplikasi 5G, antara lain: *Augmented Reality/Virtual Reality* (AR/VR), video *Ultra High Definition* (UHD), *smart home*, dan *smart manufacturing*, terus meningkat. 5G menjadi teknologi kunci bagi dunia digital, dengan *ultra-high band infrastructure* yang mampu menawarkan perbaikan yang bersifat revolusioner terkait kapasitas (*capacity*), kualitas (*quality*), ketersediaan (*availability*), dan keandalan (*reliability*) (Puslitbang SDPPPI, 2016).

Rentang frekuensi 3400-3800 MHz menjadi pita 5G utama di Eropa. Band 3400-3700 MHz merupakan kandidat penting untuk penerapan 5G di Republik Korea. Sementara itu, bagian dari rentang 3300-4200 MHz tengah dipertimbangkan untuk uji coba di sejumlah negara/wilayah di dunia. Uji coba pada pita frekuensi 3400-3800 MHz dipersiapkan untuk tahun 2018 ini di Eropa, di China (3400-3600 MHz), dan di Jepang (3600-4200 MHz). Uji coba juga direncanakan di Australia pada 3400-3600 MHz. Selain itu, *The Third Generation Partnership Project* (3GPP) juga mengupayakan agar 5G-NR diatur pada 3300-4200 MHz (GSA, 2017).

International Telecommunication Union Radiocommunication sector (ITU-R) menyebutkan bahwa keterkaitan antara *International Mobile Telecommunication-IMT* dan 5G akan mampu mewujudkan visi masa depan komunikasi *mobile broadband*. ITU sangat berperan dalam pengembangan standar antarmuka radio untuk komunikasi *mobile*. IMT-2000 dan IMT-Advanced merupakan kerangka standar untuk IMT yang mencakup perspektif industri 3G dan 4G, serta terus berkembang hingga 5G. Di dalam WRC-15, dinyatakan bahwa perlu ada spektrum tambahan untuk mendukung pertumbuhan masa depan IMT.



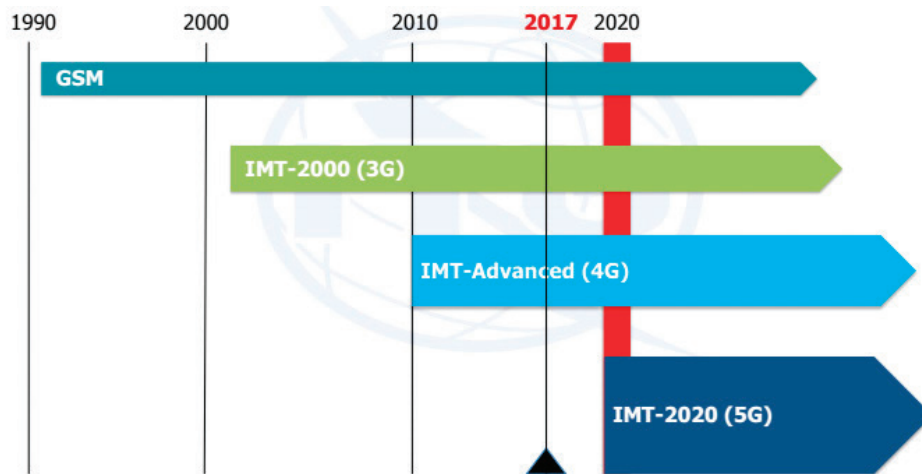
Studi *Global Mobile Suppliers Association (GSA, 2017)* menyebutkan bahwa *range* pita frekuensi 3300-4200 MHz merupakan pita utama 5G (tahap awal) untuk spektrum di bawah 6 GHz. Jumlah spektrum yang dimanfaatkan oleh teknologi telekomunikasi bergerak internasional (IMT) dalam rentang frekuensi ini akan mampu memberikan peningkatan kapasitas dan pengalaman yang lebih baik kepada para pengguna/*end users*. GSA juga merekomendasikan perlunya pembersihan *bands* yang akan digunakan oleh 5G, sehingga memungkinkan efisiensi maksimum dan cakupan penerapan 5G.

Terkait pita frekuensi, Peraturan Menkominfo Nomor 25 Tahun 2014 tentang Tabel Spektrum Frekuensi Radio Indonesia-TASFRI menyatakan bahwa rentang 3,4-4,2 GHz dialokasikan untuk dinas tetap dan satelit tetap (*primary*), di mana catatan kaki INS28 dan INS29 menyebutkan bahwa pita 3400-3700 MHz dan pita 3400-3700 MHz diutamakan masing-masing untuk dinas satelit tetap Extended-C band dan dinas satelit tetap C-band (Kominfo, 2014). Pita 3400-4200 MHz hampir sebagian besar digunakan untuk teknologi satelit, dengan adanya sebaran stasiun bumi *existing*. Frekuensi satelit secara umum di pita -L, -C, -Ku, dan -Ka, serta secara khusus di pita C dan extended-C, harus diproteksi, agar tidak terjadi interferensi. Oleh karena itu, Pemerintah Republik Indonesia, pada WRC 2015, yang diwakili oleh Kementerian Kominfo, memutuskan untuk tidak mengidentifikasi frekuensi 3600-3800 MHz dan 3800-4200 MHz ini sebagai frekuensi untuk IMT-2000, meskipun beberapa negara, termasuk negara Region 3, pada WRC-15, telah mengidentifikasi rentang frekuensi 3600-3800 MHz atau 3800-4200 MHz sebagai pita identifikasi IMT (Setiawan & Aksah, 2017).

Landasan Teori

IMT-2020

IMT-2020, atau disebut pula teknologi 5G, mulai dikeluarkan standarnya pada tahun 2020. Adapun spesifikasi teknis IMT advanced maupun IMT-2020 (5G) ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 1. IMT Standards Evolution toward 5G (Murara, n.d.)

Tabel 1. Spesifikasi Teknis IMT-Advanced dan IMT 2020 (5G)

	5G	LTE-Advanced (4.5G)	LTE (4G)
Peak data rate	20 Gbps for DL, 10 Gbps for UL	1 Gbps for DL, 500 Mbps for UL	100Mbps for DL, 50Mbps for UL
Peak Spectral Efficiency	30 bps/Hz for DL and 15 bps/Hz for UL	30 bps/Hz for DL and 15 bps/Hz for UL	5 bps/Hz for DL, 2.5 bps/Hz for UL
Control Plane Latency (IDLE->ACTIVE)	10 ms	50 ms	100ms
User Plane Latency*	eMBB: 4 ms for DL, 4 ms for UL. URLLC: 0.5 ms for DL, 0.5 ms for UL	Lower than LTE	5ms in unload condition
Reliability	Support up to 10^{-5} packet error rate within 1ms	Not defined	Not defined
Connection density	1 Million device/km ² in urban environment	300 UEs/cell per 5MHz	200 UEs/cell per 5MHz
Target mobility	500km/h	up to 350km/h (or perhaps even up to 500km/h depending on the frequency band)	Optimized for 0 to 15km/h Support with high perf for 15 to 120 km/h Support up to 350km/h

FSS

ITU (ITU, 2016) including all Appendices, Resolutions, Recommendations and ITU-R Recommendations incorporated by reference. The Radio Regulations, Edition of 2008, contains the complete texts of the Radio Regulations as adopted by the World Radiocommunication Conference (Geneva, 1995) mengklasifikasi sistem komunikasi satelit berdasarkan jenis layanannya menjadi *Fixed Satellite Service (FSS)*, *Mobile Satellite Service (MSS)*, *Broadcasting Satellite Service (BSS)*, dan *Radiodetermination Service*. Pada bagian ini, pembahasan sistem komunikasi satelit hanya mencakup FSS. Menurut (ITU, 2012), FSS didefinisikan sebagai layanan komunikasi radio antara stasiun bumi pada lokasi tertentu dengan satelit yang ditempatkan di luar angkasa. Posisi stasiun bumi bersifat tidak bergerak atau *fixed*. Pada beberapa kondisi, FSS juga mencakup komunikasi antarsatelit atau *intersatellite service* dan komunikasi *feeder link* ke arah sistem radio komunikasi angkasa lainnya. ITU telah mengalokasikan beberapa rentang frekuensi untuk penggelaran layanan komunikasi satelit, antara lain L-band, S-band, C-band, X-band, Ku-band, dan Ka-band, serta khusus untuk layanan FSS menggunakan rentang frekuensi C-band, Ku-band, dan Ka-band (Satellite Industry Association, 2011).

Pita Frekuensi C-band

Frekuensi C-band berada pada rentang 4-8 GHz, tepatnya di 3,4-7,1 GHz (Satellite Industry Association, 2011), dan di antara rentang tersebut, yang paling banyak digunakan untuk layanan FSS berada pada rentang 3,4-4,2 GHz, di mana rentang tersebut digunakan untuk transmisi sinyal dari satelit menuju stasiun bumi (Lway Faisal Abdulrazak, 2018). Dalam dokumen Radio Regulation Article 5 yang dikeluarkan oleh ITU, disebutkan bahwa frekuensi C-band dialokasikan untuk sejumlah teknologi, antara lain yakni *fixed service*, *mobile service (kecuali aeronautical)*, FSS, dan radiolokasi atau radar. Frekuensi C-band merupakan spektrum frekuensi yang banyak digunakan untuk penggelaran layanan satelit, dikarenakan C-band memiliki beberapa kelebihan, antara lain (Intelsat, 2015; SATMARIN, 2018; Traveltronic, 2014):

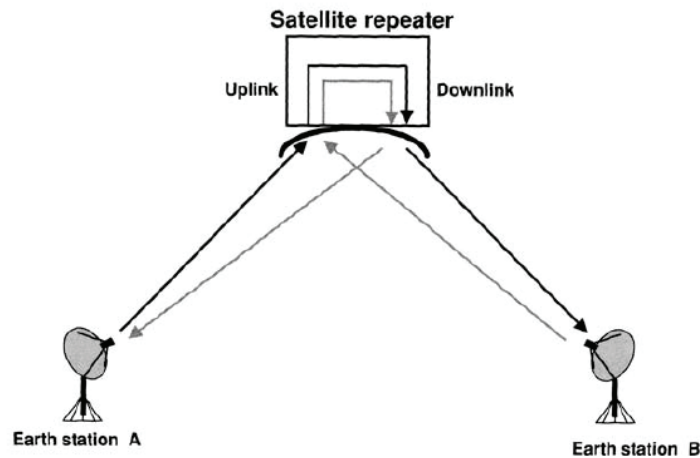
- Cakupan sinyal yang sangat luas, di mana satelit C-band dapat melayani wilayah satu benua dengan hanya satu buah *global beam*. Hal ini tentu memungkinkan layanan dapat menjangkau lebih banyak pelanggan;

- Reliabilitas yang tinggi terhadap kondisi cuaca, khususnya terhadap hujan, sehingga kualitas penerimaan sinyal satelit tetap bagus, meskipun dalam kondisi cuaca hujan. Oleh karenanya, banyak penyedia layanan satelit di wilayah tropis cenderung memilih C-band dibandingkan pita lainnya di rentang frekuensi yang lebih tinggi dari C-band;
- Harga atau biaya *bandwidth* yang terjangkau.

Namun demikian, frekuensi C-band memiliki beberapa kekurangan, antara lain mensyaratkan ukuran diameter antena yang besar, sehingga menuntut ukuran atau dimensi perangkat penerima di stasiun bumi maupun *Customer Premises Equipment (CPE)* yang lebih besar.

Fixed Satellite Service (FSS) pada Frekuensi C-band

Sistem komunikasi satelit mencakup dua elemen utama, yaitu *space station* dan *ground station*, sebagaimana terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Elemen Utama Sistem Komunikasi Satelit (Elbert, 2008)

Space station merupakan stasiun pemancar dan penerima yang berada di luar angkasa, dalam hal ini adalah satelit itu sendiri, dan *ground station* atau stasiun bumi adalah stasiun pemancar dan penerima yang ditempatkan di bumi. Salah satu tipe layanan satelit, sebagaimana telah disebutkan dalam dokumen ITU, adalah FSS, yang mencakup komunikasi antara satelit dan stasiun

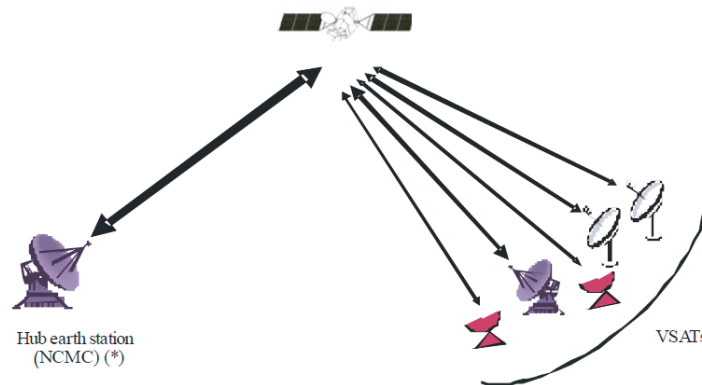
bumi, di mana stasiun bumi berada pada posisi diam atau tidak bergerak. Beberapa contoh aplikasi layanan FSS antara lain yakni jaringan *backhaul* untuk jaringan bergerak terrestrial (misal: *backhaul* untuk teknologi nirkabel seluler), kebutuhan komunikasi untuk *disaster recovery* dan *public safety*, jaringan komunikasi untuk kegiatan operasi pertambangan, perbankan, *satellite news gathering*, dan Internet. Layanan satelit pada frekuensi C-band memiliki peran penting dalam penyediaan layanan, terutama bagi mereka yang bertempat tinggal di wilayah rural, begitu juga bagi mereka yang bertempat tinggal di wilayah yang memiliki iklim tropis. Pada umumnya, skenario penggelaran layanan FSS pada C-band terdiri atas infrastruktur jaringan akses dan *wireless local loop* (WLL), di mana fasilitas stasiun bumi dilengkapi oleh perangkat *Very Small Aperture Terminal* (VSAT) (Lway Faisal Abdulrazak, 2018). Jaringan FSS didesain dengan mempertimbangkan sejumlah aspek, antara lain jenis *traffic* (audio, video, dan sebagainya), *throughput* yang diinginkan, arsitektur dan topologi jaringan VSAT, skema modulasi sinyal, luas cakupan sinyal satelit, *link budget*, dan model antena. Jaringan VSAT memiliki sejumlah fitur penting, antara lain:

- Transmisi data yang lebih stabil;
- Mampu memfasilitasi transmisi dengan *bandwidth* bervariasi dan *adaptive power*;
- Mampu mendukung komunikasi *point-to-multipoint*, *multipoint-to-point*, *point-to-point*, dan layanan pita lebar atau *broadband*;
- Jenis aplikasi yang dapat difasilitasi beragam, meliputi layanan *real-time* dan interaktif, telefoni, Internet, multimedia, dan layanan *direct-to-home* (DTH);
- VSAT dapat diimplementasikan di wilayah daratan, *remote area*, perairan, hingga ruang angkasa.

VSAT merupakan unit pemancar dan penerima di stasiun bumi yang digunakan untuk mentransmisikan sinyal dari dan menuju satelit ataupun pesawat. FSS menyediakan beberapa pilihan topologi jaringan:



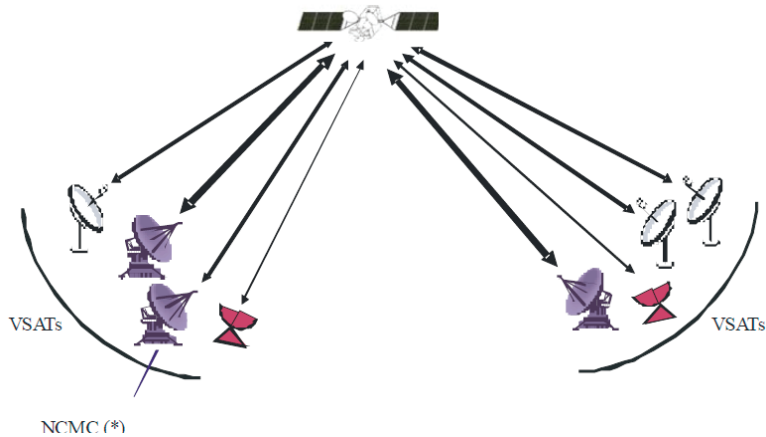
- Star



Gambar 3. Jaringan VSAT dengan Topologi Star (ITU-R, 2013)

Dalam topologi ini, transmisi data antarpelanggan selalu dilewatkan melalui hub sebagai pusat kontrol transmisi data. Selain itu, hub juga berfungsi sebagai penghubung antara pelanggan dengan jaringan satelit. Hub dilengkapi dengan antena berdiameter 6-11 meter, agar dapat melakukan pengiriman dan penerimaan sinyal komunikasi. Komunikasi dari satu VSAT dengan VSAT lainnya harus melalui *hub earth station* terlebih dahulu. Dalam topologi Star, terdapat lebih dari satu buah *hub earth station*. Hal ini ditujukan untuk kebutuhan *redundancy*. Jika dalam satu waktu, *hub earth station* primer mengalami kegagalan, maka jalur komunikasi akan dialihkan ke *hub earth station* sekunder. Selain sebagai *aggregator traffic*, *hub earth station* juga bertindak sebagai *network control and monitoring center (NCCM)*. Dalam satu jaringan VSAT, antara VSAT satu dengan VSAT lainnya dapat memiliki karakteristik atau spesifikasi yang berbeda, menyesuaikan dengan kebutuhan *traffic*.

- Mesh



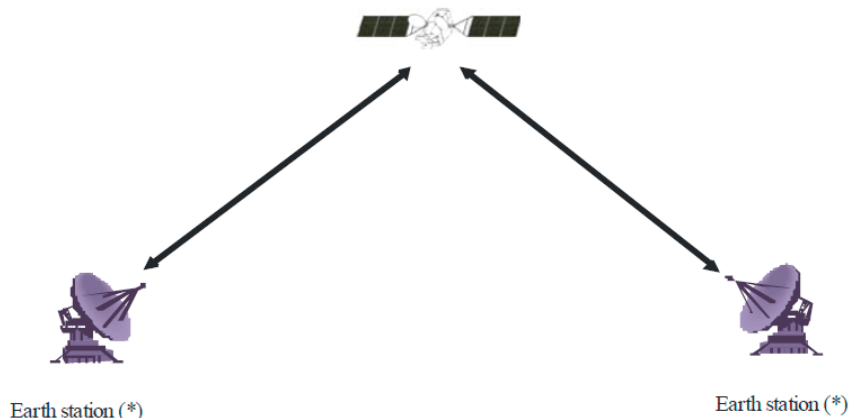
Gambar 4. Jaringan VSAT dengan Topologi Mesh (ITU-R, 2013)

Topologi Mesh memungkinkan antar-VSAT dapat saling berkomunikasi tanpa perlu melalui hub terlebih dahulu, sehingga dapat mempersingkat waktu yang dibutuhkan untuk mentransmisikan data hingga perangkat user atau CPE. Topologi ini cocok untuk layanan komunikasi suara atau telefoni yang membutuhkan *delay* kecil. Pada topologi *mesh* juga difasilitasi lebih dari satu hub *earth station*, di mana satu hub *earth station* bertindak sebagai hub primer, dan hub *earth station* lainnya sebagai hub sekunder.

- Hybrid

Topologi *Hybrid* memungkinkan jaringan menggunakan kombinasi antara *Mesh* dan *Star*. Dalam topologi *Hybrid*, antenna hub memiliki diameter 4 sampai dengan 11 meter dan berkomunikasi dengan semua terminal, sehingga membutuhkan *bandwidth* yang lebih besar. Dalam beberapa kondisi, topologi *Hybrid* lebih cocok (contoh: kinerja jaringan akses yang terhubung dengan *end user* akan lebih efisien dengan mengadopsi topologi *Star*, sementara jaringan *core* lebih cocok mengadopsi topologi *mesh*).

- *Point-to-point*



Gambar 5. Jaringan VSAT dengan Topologi *Point-to-Point* (ITU-R, 2013)

Pada topologi *point-to-point*, komunikasi dari satu stasiun bumi hanya diterima oleh satu stasiun bumi lainnya, sementara pada ketiga topologi lainnya, komunikasi dapat melibatkan lebih dari dua stasiun bumi. Stasiun bumi pada topologi *point-to-point* bekerja sebagai *stand-alone node*, sehingga satu stasiun bumi tidak bertindak sebagai *controller* bagi stasiun bumi lainnya. Namun begitu, untuk beberapa kondisi, satu stasiun bumi dapat difungsikan untuk mengontrol stasiun bumi yang lain.

ITU, dalam dokumennya (ITU-R, 2010), mengategorikan stasiun bumi menjadi empat pilihan tipe, antara lain:

- Stasiun bumi yang dapat dibangun di mana pun dan/atau tanpa membutuhkan lisensi atau registrasi ke pihak berwenang;
- Stasiun bumi dengan lisensi per unit;
- Stasiun bumi dengan fungsi telemetri;
- *Feeder link* untuk sistem satelit bergerak atau *mobile satellite system*

Tabel 2. Parameter Sistem FSS dari Satelit Menuju Stasiun Bumi

Parameter	Typical value
<i>Range of operating frequencies</i>	3400-4200 MHz, 4500-4800 MHz
<i>Antenna diameters (m)</i>	1.2, 1.8, 2.4, 3.0, 4.5, 8, 16, 32
<i>Antenna reference pattern</i>	Recommendation ITU-R S.465
<i>Range of emission bandwidths</i>	40 kHz–72 MHz
<i>Receiving system noise temperature</i>	100 K for small antennas (1.2-3 m), 70 K for large antennas (4.5 metres and above)
<i>Earth station deployment</i>	All regions, in all locations (rural, semi-urban, urban)
<i>Power flux-density at the Earth's surface produced by emissions from a space station</i>	In accordance with RR No. 21.16 , Table 21-4

Sumber: (ITU-R, 2015)

Tabel 2 menyajikan parameter teknis untuk transmisi sinyal pada sistem FSS dari satelit menuju stasiun bumi, yang meliputi rentang frekuensi yang digunakan, diameter antena stasiun bumi, lokasi stasiun bumi, *noise temperature*, dan sebagainya. Tipe antena yang digunakan tergantung kepada wilayah di mana stasiun bumi berada. Antena berdiameter lebih kecil (1,8-3,8 meter) ditempatkan di atap gedung atau di atas tanah, baik di daerah urban, semiurban, dan rural. Sementara, antena dengan diameter lebih besar ditempatkan di atas tanah yang mencakup wilayah semiurban dan rural saja. Selain dialokasikan untuk komunikasi *downlink* FSS, rentang frekuensi 3,4–4,2 GHz juga dipersiapkan oleh ITU untuk digunakan oleh sistem IMT-2020. World Radiocommunication Congress ke-15 (WRC-15) menghasilkan *outcome* yakni frekuensi 3,4–4,2 GHz FSS sebagai *primary user* dan layanan nirkabel bergerak menjadi *secondary user* (Moakkit, 2017). Potensi interferensi yang akan dialami oleh sistem FSS terkait penggunaan bersama rentang frekuensi 3,4–4,2 GHz oleh FSS dan IMT-2020 antara lain sebagai berikut (ITU-R, 2015):

- *In-band emission* dari IMT-2020

Interferensi yang disebabkan oleh lokasi stasiun bumi yang cukup dekat dengan sistem IMT-2020. Jarak yang jauh antara satelit dan stasiun bumi menyebabkan daya sinyal dari satelit menurun dengan signifikan saat diterima oleh antena stasiun bumi, sementara sinyal dari sistem IMT-2020



di dekat stasiun bumi dipancarkan dengan daya yang lebih kuat. Hal ini mengakibatkan terganggunya penerimaan sinyal satelit oleh antena stasiun bumi.

- *Adjacent band emission* dari IMT-2020

Interferensi ini prinsipnya hampir sama dengan interferensi *in-band emission*, hanya saja, sinyal pengganggu dari IMT-2020 berada pada frekuensi yang berdekatan atau bersebelahan dengan frekuensi yang saat itu sedang digunakan untuk transmisi sinyal FSS ke stasiun bumi.

- *Low Noise Amplifier (LNA)/Low Noise Block Down Converter (LNB) overdrive*

Interferensi yang disebabkan oleh sensitivitas LNA dan LNB. LNA/LNB didesain untuk dapat mendeteksi sinyal FSS dari satelit, bahkan saat daya sinyal berada pada level yang sangat rendah. Dalam kondisi sistem IMT-2020 berada cukup dekat dengan stasiun bumi, maka sinyal dengan daya lebih besar yang berasal dari IMT-2020 akan mengganggu kinerja LNA/LNB, dan mengakibatkan distorsi terhadap sinyal FSS yang dideteksi oleh LNA/LNB. Distorsi sinyal FSS menyebabkan terjadinya *error* pada saat proses deteksi informasi yang dibawa oleh sinyal FSS.

- *LNA/LNB intermodulation*

Interferensi yang disebabkan oleh nonlinieritas LNA/LNB, baik yang disebabkan oleh LNA/LNB itu sendiri maupun sinyal eksternal yang terdeteksi oleh LNA/LNB.

Beberapa contoh implementasi FSS di sejumlah negara di dunia dapat dilihat pada bagian berikut:

- Brasil: Rentang frekuensi 3,7-4,2 GHz digunakan oleh total 20.000 stasiun bumi (8.000 stasiun bumi terkoneksi ke satelit milik Brasil dan 12.000 stasiun bumi terkoneksi ke stasiun milik asing yang berada di atas wilayah Brasil) dan sekitar 20 juta terminal *Television-Receive Only* (TVRO) yang terhubung ke stasiun bumi tersebut;
- Penyedia layanan program TV di USA menggunakan satelit FSS untuk melayani masyarakat di area yang belum tercakup oleh stasiun TV terestrial. Sekitar 122.000 stasiun bumi menerima sinyal layanan TV melalui satelit FSS tersebut;



- Asosiasi penyiaran di Amerika Utara memanfaatkan 31.000 stasiun bumi yang ditujukan untuk mengakomodasi sekitar 66 juta pelanggan layanan TV kabel;
- Prancis dan Korea masing-masing memiliki ≤ 20 stasiun bumi FSS dengan lisensi nasional, sementara Finlandia dan Swedia masing-masing memiliki ≤ 5 stasiun bumi FSS dengan lisensi nasional;
- Rusia memiliki sekitar 6.000 stasiun bumi berlisensi nasional. Selain 6.000 stasiun bumi tersebut, Rusia juga memiliki sejumlah stasiun bumi untuk melayani terminal TVRO;
- Indonesia saat ini memiliki 6 buah satelit C-band, meliputi Telkom-1, Telkom-2, Telkom-3S, Palapa-D, PSNVR2, dan BRIsat. Berdasarkan data Ditjen SDPPI, dari total 204 lisensi stasiun bumi yang diajukan Indonesia ke ITU, sekitar 85 stasiun bumi telah mendapatkan persetujuan dari ITU (Ditjen SDPPI Kementerian Kominfo, 2017).

Interferensi

Interferensi merupakan salah satu gangguan pada sistem transmisi sinyal data. Interferensi didefinisikan sebagai sinyal pengganggu yang tidak diinginkan, di mana frekuensinya berdekatan atau sama dengan sinyal yang diinginkan serta berdaya besar. Interferensi pada jaringan seluler dibagi menjadi dua, yakni:

Co-channel interference (Interferensi Kokanal)

Interferensi ini disebabkan penggunaan ulang frekuensi oleh sel-sel yang menggunakan frekuensi yang sama. Sel-sel ini disebut sel-sel kanal yang sama atau sel kokanal. Interferensi kokanal tidak dapat diatasi dengan cara meningkatkan SNR, karena penambahan daya pancar pengirim justru akan menaikkan interferensi dengan sel kokanal tetangga. Untuk mengurangi interferensi kokanal, maka sel-sel kokanal harus dipisahkan sejauh jarak minimal tertentu yang akan mengurangi pengaruh perambatan (Susilawati & Eng, 2009).

Adjacent channel interference (Interferensi Kanal yang Berdekatan)

Interferensi yang diakibatkan oleh sinyal-sinyal pada frekuensi yang berdekatan. Interferensi jenis ini terjadi karena filter penerima yang tidak sempurna, sehingga mengakibatkan frekuensi lain masuk ke dalamnya. Permasalahan akan timbul jika dua orang pelanggan yang berdekatan menggunakan kanal yang berdekatan; yang satu mengirim sinyal dan yang lain sedang menerima sinyal dari stasiun basis. Selain itu, permasalahan juga dapat terjadi jika pelanggan yang berada dekat dengan stasiun basis menggunakan kanal yang berdekatan dengan kanal yang digunakan oleh pelanggan berdaya pancar rendah (Susilawati & Eng, 2009).

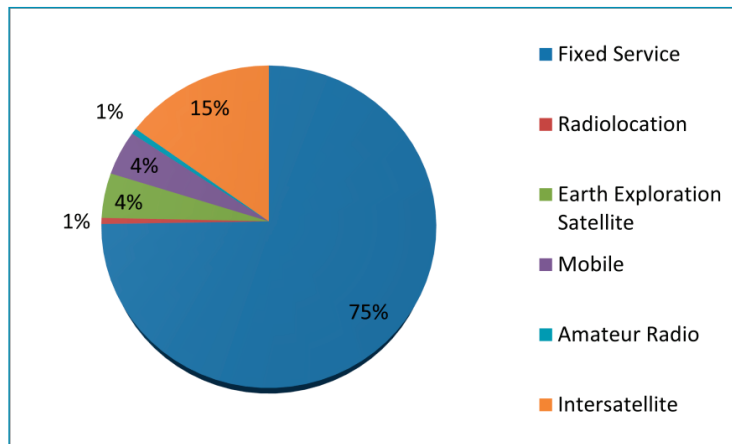
Interferensi kanal yang berdekatan dapat diminimalkan dengan penapisan atau *filtering* dan pembagian kanal yang tepat. Pembagian kanal pada tiap sel dapat diatur sedemikian rupa sehingga kanal-kanal yang berdekatan frekuensinya tidak berada dalam satu sel. Jarak frekuensi antarkanal harus dijaga sebesar mungkin untuk mengurangi interferensi. Kanal-kanal dapat dibagi dengan menghindari kanal-kanal yang membentuk pita frekuensi kontinu berada pada sel yang sama (Susilawati & Eng, 2009).

Penelitian Sejenis

Penelitian sebelumnya terkait dengan *sharing* IMT-2020 terhadap layanan lain, termasuk FSS antara lain:

- Studi yang dilakukan di Malaysia (Hassan, Jo, & Tharek, 2017) the international telecommunication union (ITU mencoba untuk melakukan pengujian mengenai penggunaan frekuensi bersama oleh teknologi 5G dan teknologi *existing* di rentang pita frekuensi mmWave (24-86) GHz. Rentang frekuensi tersebut saat ini digunakan oleh layanan berbasis satelit, *fixed service*, dan *mobile service*, di mana *fixed service* merupakan teknologi yang paling dominan memanfaatkan pita frekuensi mmWave di Malaysia, sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 6.

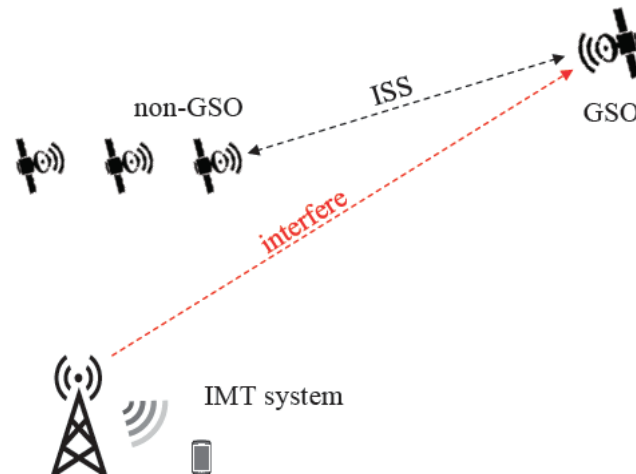




Gambar 6. Persentase Pemanfaatan Frekuensi mmWave di Malaysia (Hassan et al., 2017) the international telecommunication union (ITU)

Dalam studi ini, fokus terutama ditujukan pada potensi interferensi akibat *frequency sharing* dari sistem 5G terhadap *fixed services* di frekuensi 28 GHz, di mana hasil simulasi menunjukkan bahwa layanan *fixed services* berpotensi mengalami interferensi signifikan yang ditimbulkan oleh sistem 5G. Selain *Fixed Service (FS)*, layanan berbasis satelit seperti *Earth Exploration Satellite Service (EESS)*, *Inter-satellite Service (IS)*, *Mobile Satellite Service (MSS)*, dan *Fixed Satellite Service (FSS)* juga mendapat alokasi di rentang frekuensi 24-86 GHz. Studi menyimpulkan bahwa frekuensi 28 GHz dan 43,5-47 GHz merupakan frekuensi yang paling memungkinkan untuk implementasi *co-existence* antara *existing technology* dan IMT-2020.

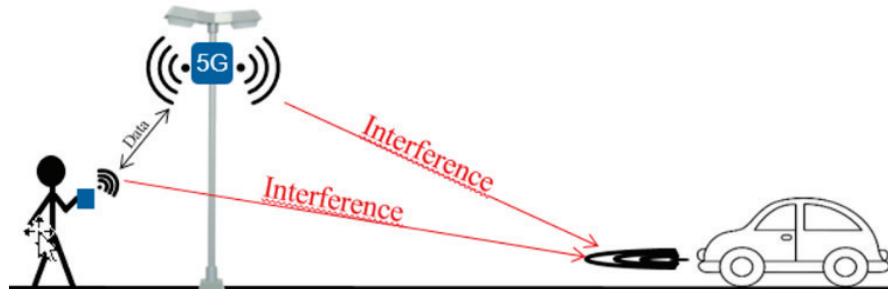
- Potensi *frequency sharing* untuk teknologi satelit dan IMT-2020 juga dibahas dalam (Tan, Wang, Chen, He, & Deng, 2017). Studi ini fokus pada kompatibilitas penggunaan frekuensi bersama antara IMT-2020 dan *Inter-Satellite System (ISS)* pada frekuensi 26 GHz untuk wilayah urban di Cina. Sistem yang berpotensi terkena interferensi yakni komunikasi *uplink* antara *spacecraft* sebagai satelit NGSO dan *data relay satellite* sebagai satelit GSO, sementara potensi interferensi berasal dari transmisi *downlink* dari BTS IMT-2020 ke UE, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Potensi Interferensi IMT-2020 terhadap ISS (Tan et al., 2017)

Simulasi dilakukan menggunakan dua jenis analisis, yakni *spatial distribution* (pengukuran interferensi dilakukan setiap 50 km saat pelacakan satelit NGSO oleh satelit GSO) dan *temporal distribution* (pengukuran interferensi dilakukan setiap 1 detik saat pelacakan satelit NGSO oleh satelit GSO). Hasil simulasi menunjukkan bahwa baik untuk *spatial distribution* maupun *temporal distribution*, sinyal interferensi total dari IMT-2020 terhadap ISS receiver tidak melebihi batas kriteria interferensi di sisi ISS receiver. Studi menyimpulkan bahwa IMT-2020 tidak menimbulkan interferensi yang mengganggu operasional ISS dalam jangka panjang.

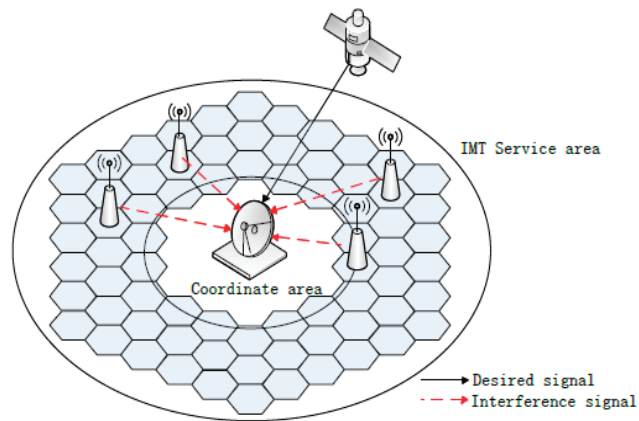
- Electronic Communications Committee (ECC) dalam studinya (ECC, 2017a), membahas tentang kompatibilitas antara IMT-2020 dan *Automotive Radar* pada frekuensi 76-81 GHz. Studi tersebut secara khusus menginvestigasi potensi interferensi *spurious emission* dari sistem IMT-2020 sebesar -13 dBm/1 MHz yang berfokus pada estimasi *adjacent channel interference* dari BTS IMT-2020 terhadap *Automotive Long-Range Radar* (LRR) dengan lebar pita frekuensi *automotive radar* sebesar 1 GHz). BTS IMT-2020 berperan sebagai *interferer*, dan *automotive radar* yang terpasang pada mobil sebagai *victim*. Pengujian dilakukan di wilayah urban, dan jenis BTS IMT-2020 yang dipasang mencakup *mobile* dan *fixed services*.



Gambar 8. Skenario Interferensi dari IMT-2020 terhadap Automotive Radar (ECC, 2017a)

Propagasi model yang digunakan dalam studi ECC merujuk kepada rekomendasi ITU-R REC P.452, dan pengujian dilakukan menggunakan simulasi dengan *software* SEAMCAT. Hasil studi ECC ini menunjukkan bahwa *spurious emission* sebesar -13 dBm/1 MHz dari sistem IMT-2020 menyebabkan interferensi yang signifikan terhadap sistem *automotive radar* dengan probabilitas 40,3%. Menimbang bahwa IMT-2020 akan banyak diimplementasikan di wilayah urban dan bahwa *automotive radar* merupakan fitur penting dalam keselamatan berkendara, maka nilai *spurious emission* perlu ditentukan pada kisaran -30 dBm/1 MHz dengan ketersediaan *guard band* yang cukup di pita frekuensi 71-76 GHz dan 81-86 GHz.

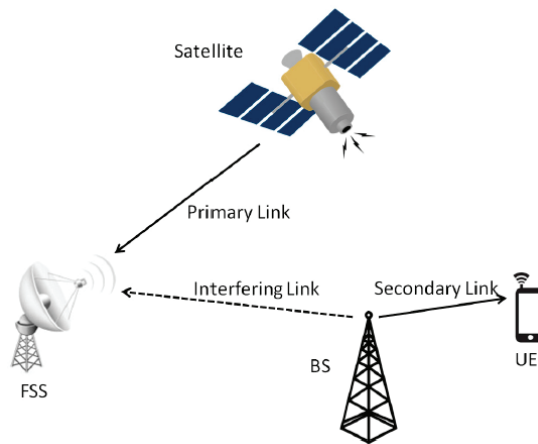
- Studi yang dilakukan State Radio Monitoring Center dan dan Beijing Credit Top Company Limited (Chen, Qian, Wang, & Li, 2018) menganalisis isu kompatibilitas IMT-2020 dan *Space Research System* (SRS) pada rentang frekuensi di atas 6 GHz, tepatnya di rentang frekuensi 25,5-27 GHz, dengan komunikasi *downlink* IMT-2020 sebagai *interferer* dan komunikasi *downlink* dari satelit SRS ke stasiun bumi sebagai *victim*.



Gambar 9. Skenario Interferensi IMT-2020 terhadap SRS (Chen et al., 2018)

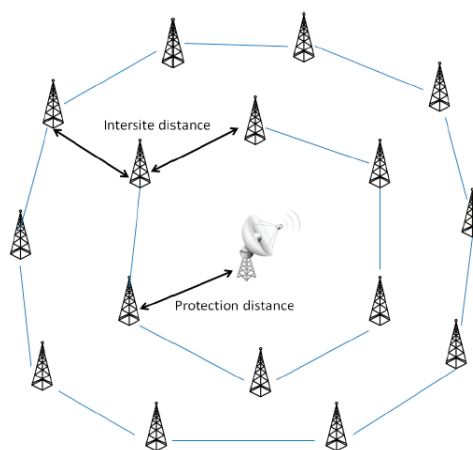
Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9, stasiun bumi dari sistem SRS berada di dekat sejumlah BTS IMT-2020 dengan jarak yang seragam antara setiap BTS IMT-2020 terhadap stasiun bumi. BTS IMT-2020 yang digunakan ialah *macro* BTS. Potensi interferensi yang dialami oleh stasiun bumi berasal dari BTS IMT-2020 dan *User Equipment* (UE). Hasil simulasi yang dilakukan dalam studi ini menunjukkan bahwa *co-existence* antara IMT-2020 dan SRS pada frekuensi 25,5-27 GHz tidak menimbulkan interferensi terhadap stasiun bumi milik SRS, selama memenuhi jarak proteksi (*separation distance*) minimum antara stasiun bumi dan BTS IMT-2020 serta antara stasiun bumi dan UE, yakni sejauh 2 km dengan *interference margin* di atas 10 dB. Namun demikian, studi ini merekomendasikan untuk mengklarifikasi lebih lanjut hasil pengukuran ketika pengujian parameter simulasi diimplementasikan pada kondisi geografis dan topografi riil di lapangan.

- Studi yang dilakukan oleh University of Padova Italy dan Samsung R&D Institute UK menyajikan tentang analisis *co-existence* antara FSS dan sistem komunikasi seluler pada rentang frekuensi mmWave, tepatnya pada frekuensi 18 GHz yang digunakan oleh FSS untuk komunikasi dari satelit menuju stasiun bumi. Model interferensi dari BTS terhadap FSS dapat dilihat pada Gambar 10 dan 11, di mana komunikasi dari satelit ke stasiun bumi FSS bertindak sebagai *victim* dan komunikasi *downlink* dari BTS jaringan seluler yang beroperasi pada frekuensi mmWave bertindak sebagai *interferer*.



Gambar 10. Interferensi Tunggal BTS 5G terhadap Stasiun Bumi FSS (Guidolin, Nekovee, Badia, & Zorzi, 2015)

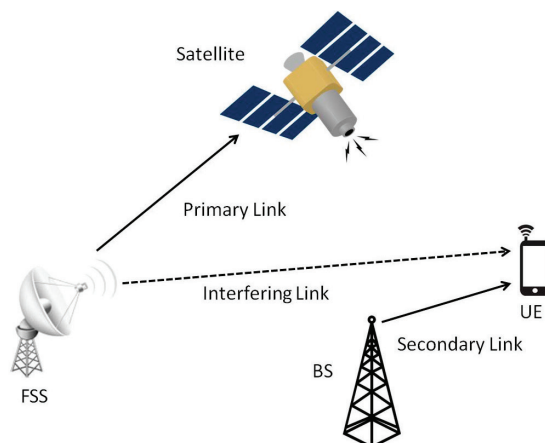
Dua skenario yang diterapkan dalam studi ini meliputi *single* BTS dan *multiple* BTS. Gambar 10 menunjukkan skenario *single* BTS, yang hanya mencakup satu stasiun bumi FSS dan satu BTS, sementara skenario *multiple* BTS menempatkan satu stasiun bumi FSS yang dikelilingi sejumlah BTS, sebagaimana disajikan pada Gambar 11. Parameter yang digunakan untuk menentukan batas interferensi adalah *Interference-to-Noise Ratio (I/N)* sebesar -10 dB dan BTS menggunakan *omnidirectional* dan *directional antenna*.



Gambar 11. Multiple Interference dari 5G terhadap FSS (Guidolin et al., 2015)

Hasil simulasi pengujian dalam studi menunjukkan bahwa *co-existence* antara FSS dan IMT-2020 di frekuensi mmWave dapat diimplementasikan, dengan mempertimbangkan bahwa karakteristik gelombang mmWave menuntut jumlah *antenna array* yang banyak dan jangkauan sinyal yang lebih kecil, sehingga memungkinkan penempatan stasiun bumi FSS dan BTS IMT-2020 pada jarak proteksi yang lebih kecil tanpa menimbulkan interferensi terhadap stasiun bumi FSS.

- University of Padova Italy dan Samsung R&D Institute UK juga melakukan studi sejenis yang fokus pada analisis *co-channel* antara 5G *Small Cell* dan FSS pada frekuensi 28 GHz. Komunikasi dari BTS 5G (IMT-2020) ke UE bertindak sebagai *victim*, sementara komunikasi *uplink* dari stasiun bumi bertindak sebagai *interferer*, sebagaimana disajikan pada Gambar 12. Skenario menggunakan *multiple* BTS, di mana sejumlah BTS mengelilingi satu stasiun bumi FSS pada jarak tertentu dan tidak mengizinkan adanya *cooperation* antara satu BTS dengan BTS lainnya.

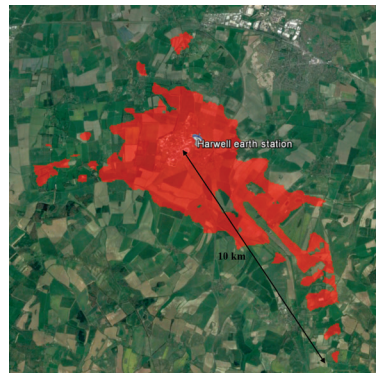


Gambar 12. Skenario Interferensi dari Stasiun Bumi FSS terhadap 5G (Guidolin & Nekovee, 2015)

Parameter yang digunakan untuk menilai kondisi interferensi adalah nilai I/N . Berdasarkan hasil simulasi, disimpulkan bahwa dengan mengeksplorasi parameter jumlah *antenna array* dan jarak proteksi yang memadai antara stasiun bumi FSS dan 5G *Small Cell*, maka implementasi *spectrum sharing* antara FSS dan 5G (IMT-2020) pada kanal yang sama

(*co-channel*) sangat mungkin untuk dilakukan, dalam artian *co-channel* antara kedua teknologi tersebut tidak memberikan dampak signifikan terhadap *throughput* layanan bagi pengguna teknologi 5G.

- Dalam studi (ECC, 2017b), ECC juga melakukan studi analisis *co-existence* antara 5G dan stasiun bumi EESS yang beroperasi pada frekuensi 26 GHz. Komunikasi dari satelit EESS menuju ke stasiun bumi merupakan *victim*, sementara sistem 5G sebagai *interferer*, baik dari 5G BTS maupun UE di salah stasiun bumi yang berlokasi di Harwell, Oxfordshire, United Kingdom. Beberapa skenario interferensi yang diinvestigasi dalam studi ini antara lain:
 - 1) Interferensi dari satu BTS terhadap stasiun bumi (GSO dan NGSO);
 - 2) Interferensi dari satu UE terhadap stasiun bumi (GSO dan NGSO);
 - 3) Interferensi hasil agregasi kedua skenario sebelumnya.



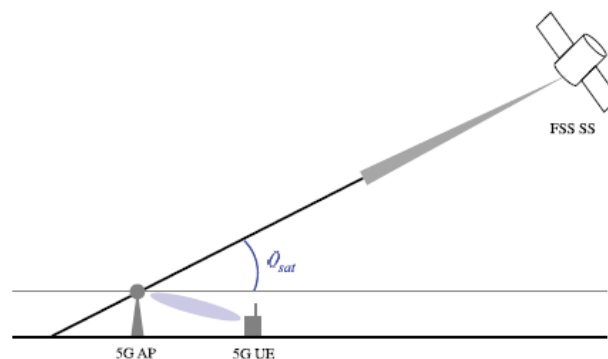
Gambar 13. Batas Area Interferensi dari 5G BTS ke Stasiun Bumi EESS (ECC, 2017b)



Gambar 14. Batas Area Interferensi dari 5G UE ke Stasiun Bumi EESS (ECC, 2017b)

Hasil pengujian menggunakan metode *Monte Carlo* menunjukkan bahwa probabilitas terjadinya interferensi dari sistem 5G (BTS dan UE) sangat kecil, yakni mendekati 0,1%. Khusus untuk skenario 1 dan 2, hasil yang disajikan dalam studi ECC tersebut menyatakan bahwa batas area interferensi dari 5G BTS ke stasiun bumi ESS mencapai 10 km dari posisi stasiun bumi, sementara batas area interferensi dari 5G UE ke stasiun bumi ESS mencapai 1,5 km dari posisi stasiun bumi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 13 dan 14.

- Permasalahan *co-existence* antara teknologi 5G dan satelit juga dibahas dalam studi (Kim et al., 2017). Studi tersebut membahas tentang potensi pemanfaatan bersama frekuensi mmWave di frekuensi 28 dan 70 GHz untuk 5G dan sejumlah layanan *existing*. Untuk layanan FSS yang berpotensi mengalami interferensi, studi ini fokus pada frekuensi 28 GHz yang digunakan oleh komunikasi *uplink* dari stasiun bumi FSS menuju ke satelit. Salah satu potensi interferensi *co-channel* yang terjadi adalah sinyal dari 5G Access Point (AP) dan/atau UE terhadap komunikasi *uplink* FSS, seperti yang terlihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Topologi Co-existence 5G dan FSS (Kim et al., 2017)

Model propagasi sinyal yang digunakan mencakup baik *Line of Sight* (LOS) maupun *Non-Line of Sight* (NLOS) antara 5G AP atau UE dan satelit FSS. Kriteria interferensi menggunakan nilai I/N dengan *threshold* sebesar -12,2 dan (-6 s.d. 0) dB. Hasil pengujian yang dilakukan di dalam studi menunjukkan bahwa level interferensi *multiple* 5G AP atau ribuan UE terhadap FSS masih memenuhi kriteria batas aman interferensi untuk sistem FSS.

Benchmark Kebijakan Negara Lain pada Pita 3,4—4,2 GHz

Negara Region 3 yang Tidak Melakukan Identifikasi IMT pada C-Band

Beberapa negara di Region 3 tidak melakukan identifikasi untuk IMT di alokasi frekuensi 3,4-4,2 GHz (Tabel 3). Kebijakan tersebut terutama didasari oleh adanya penggunaan satelit (FSS) yang masif pada pita C-band.

Malaysia

Kebijakan pita frekuensi C-band di Malaysia menyebutkan bahwa frekuensi 3,4-4,2 GHz digunakan untuk *Fixed Satellite System*, di mana frekuensi 3,4-3,6 GHz FWA dialokasikan untuk FWA system, yang dibagi ke dalam sub-band untuk penggunaan *duplex* (*nonduplex systems* tetap dapat digunakan pada band ini): 3400–3500 MHz dipasangkan dengan 3500–3600 MHz (L F Abdulrazak, Shamsan, & Rahman, 2008). C-band digunakan untuk layanan *Satellite TV*, *Satellite Radio*, *Mobile Satellite Services*, *Mobile Satellite TV*, dan *end-user broadband* (Malaysian Communications and Multimedia Commission, 2008).

Malaysia, pada WRC-07, tidak menandatangani *opt-in* IMT di pita 3400-3600 MHz dan memberikan prioritas untuk FSS di C-band. Malaysia telah mengeluarkan *Standard System Radio Plan* (SSRP) yang menyatakan persyaratan untuk pemanfaatan sistem IMT di Malaysia pada pita frekuensi berikut:

- FDD: 1920 MHz hingga 1980 MHz dipasangkan dengan 2110 MHz hingga 2170 MHz; dan
- TDD: 1915 MHz hingga 1920 MHz dan 2010 MHz hingga 2025 MHz.

Vietnam

Di Vietnam, untuk alokasi frekuensi, FSS diberikan prioritas di semua C-band. Hal ini dikarenakan sistem satelit nasional, Vinasat, membawa transponder dalam extended C-band dan ada penggunaan ekstensif dari standar maupun extended C-band di Vietnam. FSS dimanfaatkan untuk DTH, ATM (VSAT), *telemedicine*, Internet, SNG, dan sebagainya. Pada agenda WRC-15 tentang *spectrum sharing* pada C-band dengan melakukan identifikasi



pada spektrum 3,4-4,2 GHz untuk IMT, Vietnam mengambil sikap *No Change*, artinya tidak melakukan identifikasi IMT untuk pita tersebut. Hal ini dikarenakan *sharing* C-band (ARFM MIC Vietnam, 2015) akan menimbulkan beberapa dampak sebagai berikut:

- Interferensi dari IMT ke FSS;
- Implementasi stasiun IMT akan menghalangi penggunaan stasiun penerima C-band dalam area yang relatif besar di sekitar masing-masing stasiun IMT;
- Penyebaran IMT-2020 akan membatasi stasiun bumi FSS di masa depan agar tidak digunakan di area yang sama;
- Biaya untuk penyebaran stasiun penerima FSS meningkat;
- Dampak terhadap pasar satelit.

Thailand

Pada WRC-07, Thailand tidak menandatangani salah satu catatan kaki *opt-in* IMT di pita 3400-3600 MHz. Dengan operator satelit nasional yang kuat (Thaicom) yang beroperasi di C-band standar dan extended C-band, saat ini tidak ada rencana untuk melisensikan WiMAX atau LTE di pita 3,5 GHz. Diperkirakan, sekitar 17-30 juta antena C-Band digunakan untuk penerimaan televisi individu di negara-negara Asia, yang diteliti di Asia Selatan dan Tenggara, termasuk di dalamnya 4-12 juta antena C-band di Thailand (Kerans & Mesquita, 2016). C-band dan Extended C-band digunakan oleh satelit di Thailand untuk menyediakan berbagai layanan penyiaran dan data yang disesuaikan dengan kebutuhan komunikasi industri hiburan dan media, dan juga menyediakan layanan bagi kalangan bisnis, administrasi pemerintahan, dan industri telekomunikasi di Asia-Pasifik dengan kapasitas dan layanan *broadband* satelit yang hemat biaya¹.

Papua Nugini

Skenario *sharing* dan strategi alokasi frekuensi yang telah disepakati dalam WRC-07 dan WRC-12 semestinya dilaksanakan untuk menjaga kelangsungan penyediaan layanan berbasis satelit. Papua Nugini bersikap untuk tidak melakukan identifikasi IMT pada pita 3400-3700 MHz.

¹ <http://www.thaicom.net/en/satellites/overview>



Usulan untuk tidak menyertakan pita frekuensi C-band sebagai kandidat frekuensi untuk penyelenggaraan IMT di Papua Nugini (ASIA-PACIFIC TELECOMMUNITY, 2014; Yokope, 2013, 2016) diajukan dengan mempertimbangkan beberapa hal sebagai berikut:

- Jarak aman (*exclusion zone*) antara perangkat FSS dan IMT (stasiun bumi, BTS, dan perangkat *end user*) tidak praktis untuk diaplikasikan, mencapai 20 km untuk *nation wide* dan 150 km untuk wilayah padat penduduk;
- FSS C-band merupakan infrastruktur penting bagi negara-negara kepulauan di Pasifik untuk kebutuhan telekomunikasi, termasuk di Papua Nugini, yang sulit tergantikan oleh sarana telekomunikasi lainnya;
- FSS C-band sudah dialokasikan secara bersama (*shared*) dengan teknologi *fixed service*, salah satunya untuk *backhaul link* untuk terestrial;
- Jumlah sebaran stasiun penerima FSS yang sangat banyak, sehingga potensi interferensi oleh IMT terhadap FSS akan mengganggu kualitas layanan FSS.

Negara Region 3 yang Melakukan Identifikasi IMT pada C-Band

Berikut ini adalah daftar negara di Region 3 yang melakukan identifikasi IMT pada C-band, baik yang terkait dengan penggunaan yang masih sedikit pada pita tersebut maupun karena adanya kebijakan yang mendorong adanya *sharing* antara FSS dan IMT.

India

Di India, penggunaan C-band untuk komunikasi satelit sebagai jaringan telepon seluler, memberikan layanan seperti *telemedicine*, dan memenuhi kebutuhan komunikasi bisnis konsumen, terutama bank dan jaringan ATM. Di India, pelanggan yang teregistrasi untuk DTH TV yakni sebanyak 63 juta, serta lebih kurang 40.000 pengguna aktif C-band VSAT (Euroconsult, 2014).

Pada WRC-07, India menandatangani catatan kaki IMT *opt-in* 5.432B dan 5.433A. Dalam Tabel Nasional Frekuensi Alokasi, *band* 3,4-3,6 GHz tunduk pada catatan kaki India IND66 yang berbunyi: "Persyaratan IMT, termasuk *Broadband Wireless Access (BWA)*, dalam pita frekuensi 3,4-3,6 GHz dapat dipertimbangkan untuk koordinasi berdasarkan kasus per kasus, tergantung



pada ketersediaan frekuensi di pita ini dan perlindungan yang sesuai dari emisi pita ke jaringan di FSS di pita frekuensi 3,6-4,2 GHz". Otoritas Pengaturan Telekomunikasi India, www.trai.gov.in, telah menyatakan bahwa hal tersebut dimaksudkan untuk menjadikan frekuensi yang tersedia untuk BWA berada di *band-band* yang termasuk pita 3,5 GHz.

Hongkong

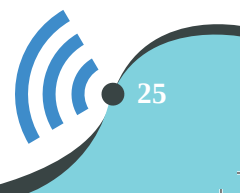
Di Hongkong, pita 3,4-4,2 GHz saat ini digunakan untuk berbagai aplikasi satelit untuk telekomunikasi eksternal, termasuk *External Fixed Telecommunications Network Services* (EFTNS) yang tidak berbasis kabel, pengoperasian *self-provided external telecommunications systems* (SPETS), penerimaan program televisi satelit melalui sistem SMATV dan sistem penerima televisi ("TVRO"), layanan *leasing* kapasitas *downlink* FSS, serta *telemetry, tracking and control* (TT & C) dan pemantauan satelit. Pada Maret 2018, Communications Authority mengeluarkan *statement* terkait perubahan alokasi dari pita 3,4-3,7 dari FSS ke layanan *mobile*. Dalam *statement* tersebut, CA memutuskan alokasi ulang pita 3,4-3,7 GHz dari FSS ke MS dengan masa efektif dari 1 April 2020 ("Hari Efektif"), dengan pemberitahuan dua tahun sebelumnya kepada pemegang lisensi yang terkena dampak. Dalam alokasi baru tersebut, pita 3,4-3,6 GHz digunakan untuk layanan *mobile* dengan *guardband* sebesar 100 MHz di frekuensi 3,6-3,7 GHz, sedangkan alokasi FSS berada di frekuensi 3,7-4,2 GHz (Communication Authority, 2018).

Filipina

Pada WRC-07, Filipina tidak menandatangani salah satu catatan kaki *opt-in* IMT dalam pita 3400-3600 MHz. Namun, Filipina telah melakukan identifikasi pita 3400—3600 Mhz untuk IMT (Gaye, 2017). Menurut Komisi Telekomunikasi Nasional (NTC), seperti tercantum pada www.r7.ntc.gov.ph, lisensi awal BWA dalam pita 3400-3600 MHz mengakibatkan interferensi yang terjadi pada aplikasi FSS C-band, khususnya interferensi ke TVRO (Casbaa, 2018).

Berikut ini ialah metode untuk mengurangi interferensi untuk pembangunan bersama FWA FS dan FSS VSAT:

- *Fixed Wireless Systems* seharusnya menggunakan antena berperforma tinggi atau yang lebih tinggi;
- Sedapat mungkin, VSAT harus diletakkan sedemikian rupa guna



memaksimalkan perlindungan dari interferensi sistem *Fixed Wireless*;

- Jika memungkinkan, VSAT tidak boleh lebih tinggi dari yang diperlukan untuk aplikasi;
- Antena VSAT harus menyediakan penghilangan interferensi;

Sistem FS dan FSS harus dibuat menggunakan *screening* alami untuk mengurangi interferensi.

Korea

Selama bertahun-tahun, Korea telah menggunakan Ku-dan Ka-band untuk aplikasi FSS, di mana pita di frekuensi C-band sangat sedikit digunakan untuk FSS. Pada WRC-07, Korea menandatangani IMT *opt-in footnote* 5.432A dan 5.433A. Dalam persiapan terkait WRC-15 *item agenda* 1.1, Korea melakukan konfigurasi pada penilaian praktis untuk IMT *band* pada Desember 2011, dan memperoleh kandidat *band* IMT yang dipilih berdasarkan studi yang telah dilakukan sebelumnya, dan mengusulkannya ke pertemuan WP5D pada Juli 2012. *Band* yang diusulkan adalah 1452–1492 MHz, 3600–3800 MHz, 3800–4200 MHz, dan 4400–5000 MHz (5G Forum, 2015). Layanan yang menggunakan frekuensi dalam pita 3400–3700 MHz, seperti *mobile broadcasting relay* dan *fixed satellite service*, telah kedaluwarsa atau dihentikan. Jadi, frekuensi akan ditarik pada akhir tahun 2017, dan akan dialokasikan kembali untuk penggunaan komunikasi seluler di masa depan².

Jepang

Selama bertahun-tahun, Jepang menggunakan Ku- dan Ka-band untuk aplikasi FSS, sedangkan C-band sangat sedikit digunakan untuk FSS. Pada WRC-07, Jepang menandatangani IMT *opt-in footnote* 5.432A. Kementerian Dalam Negeri dan Komunikasi Jepang (MIC) bertanggung jawab atas alokasi frekuensi. Bahkan, sebelum WRC-07, MIC berencana untuk menggunakan C-band, yaitu pita 3400-4200 MHz, sepenuhnya untuk layanan seluler IMT-2020. Sejak April 2012, Dewan Komunikasi Informasi Jepang telah mengkaji peraturan baru untuk sistem IMT-2020. Studi ini mencakup peraturan teknis dan berbagi/studi bersama dengan aplikasi yang ada saat ini. Laporan ini

² https://www.netmanias.com/en/post/korea_ict_news/10405/5g-korea-ict-service/news-on-korean-regulations-the-4th-frequency-deliberation-committee-2-withdrawal-of-frequency-in-3-400-3-700-mhz-and-allocation-of-new-frequency

diharapkan akan selesai pada Juli 2013, dengan operasi komersial di pita 3400-3600 MHz diharapkan pada tahun 2015.

Jepang telah secara intensif mempelajari tiga teknologi *improve sharing*, yakni *Multiple Input Multiple Output (MIMO)*, *sector disabling*, dan *Dynamic Spectrum Access/Allocation (DSA)*. Studi-studi ini dijelaskan dalam Laporan ITU-R M.2109. Selain itu, Jepang berpendapat bahwa penyebaran baru dan *sharing scenario*, seperti *small cell sistem IMT deployment* dengan menggunakan *low power and low antenna height*, dapat lebih meningkatkan pembagian antara IMT dan FSS, dan bahwa teknik ini harus diperhitungkan dalam studi di WRC-15.

Jepang ikut menandatangani catatan kaki No. 5.429, yang juga mengalokasikan pita 3300–3400 MHz untuk layanan tetap dan bergerak dengan dasar penggunaan primer. Dengan demikian, pita tersebut dapat digunakan untuk BWA.

Singapura

Pada WRC-07, Singapura menandatangani IMT *opt-in footnote* 5.432B. Otoritas Pengembangan Komunikasi-Informasi Singapura (IDA) bertanggung jawab atas alokasi frekuensi. Ini menunjukkan niat Singapura untuk menggunakan pita 3400–3600 MHz untuk IMT.

Pada September 2009, Singapura merilis hasil penelitian yang telah dilakukan pada koeksistensi BWA (WiMAX) dan FSS. Ada sedikit penggunaan C-band di Singapura, meskipun Inmarsat mengoperasikan stasiun bumi penghubung feeder untuk layanan satelit selulernya di Pulau Sentosa menggunakan extended C-band. Menggunakan sudut elevasi tinggi (65,5-87,5 derajat), antena stasiun bumi 1,5 m, dan pemisahan frekuensi 100 MHz, Singapura sampai pada kesimpulan bahwa pemancar BWA dan stasiun bumi FSS yang umum dapat dipisahkan hanya dengan 200 m tanpa gangguan berlebih ke dalam FSS. Perlu dicatat bahwa banyak aplikasi yang menggunakan antena stasiun bumi C-band dengan diameter kurang dari 3,1 m dan filter yang tidak selalu dapat disisipkan. Selain itu, sudut elevasi yang digunakan dalam penelitian di Singapura sangat tinggi. Untuk stasiun bumi FSS yang beroperasi dengan satelit yang terletak lebih rendah di cakrawala, sudut elevasi akan berkurang, dan pemisahan 200 m mungkin tidak cukup, karena gangguan dapat diterima di lobus samping, atau bahkan lobus utama stasiun bumi FSS. Pita penjaga 100 MHz pada dasarnya disterilkan, karena



tidak dapat digunakan untuk FSS maupun BWA. Singapura kemungkinan akan menggunakan pita 3400-3600 MHz untuk IMT.

Australia

Pada WRC-07, Australia tidak menandatangani salah satu catatan kaki *opt-in* IMT dalam pita 3400-3600 MHz. Namun, Australia memiliki pengalaman panjang dalam pemberian lisensi FWA di *band* ini. Sejak akhir 1990-an, bagian dari pita 3400-3600 MHz telah digunakan untuk FWA. Australia mengeluarkan lisensi spektrum untuk bagian dari pita 3400-3600 MHz di metro dan daerah pada tahun 2000, dan *large FWA network* dikerahkan oleh Unwired di Sydney dan Melbourne. Selain itu, NBN Co memegang lisensi spektrum di *band-band* 3425-3492,5 MHz dan 3542,5—3575 MHz, dan telah menunjukkan minat dalam menyebarkan LTE di *band-band* ini di masa depan. Australia memiliki lisensi *Broadband Wireless Access* (BWA) di *band* 3575-3700 MHz (pita 3,6 GHz), seperti yang dijelaskan dalam *Radiocommunications Assignment Licensing Instructions* (RALI) FX1. Judul RALI FX19 adalah “Prosedur Koordinasi dan Perizinan Frekuensi untuk Aparatur Berlisensi Layanan Akses *Broadband* Nirkabel di 1900–1920, 2010-2025, dan 3575-3700 MHz *Band*”. Publikasi ini mencakup beberapa fitur untuk pita 3,6 GHz sebagai berikut:

- prosedur koordinasi antara BWA dan FSS dengan *minimum cull distance* sebagai berikut:

Tabel 3. Minimum Cull Distance BWA dan FSS

<i>Band</i>	<i>Minimum Cull Distance</i>
3600–3670 MHz	200 km
3670–3700 MHz	150 km
3700–4200 MHz	100 km

- pada pita 3700-4200 MHz, terdapat zona pengecualian 20 km di sekitar stasiun bumi FSS (jika *guard band* 10 MHz atau kurang);
- koordinasi yang disederhanakan jika *guard band* 10 MHz atau lebih besar;
- stasiun bumi yang beroperasi dalam rentang 3700-4200 MHz harus menggunakan filter RF dengan kinerja minimum yang sama dengan atau lebih besar dari 15 dB di bawah 3670 MHz.

Kebijakan Identifikasi IMT pada C-BAND oleh Negara di Luar Asia

Negara di luar Asia (utamanya Asia Tenggara) hampir secara global memiliki kebijakan identifikasi alokasi frekuensi C-band untuk IMT.

Amerika Serikat

Di Amerika Serikat, rentang frekuensi 3,7-4,2 GHz dialokasikan untuk berbagai layanan, sebagian dari spektrum dialokasikan untuk *Fixed Satellite Service* (FSS), yang memiliki berbagai kegunaan, termasuk menyediakan layanan *Internet Broadband* kepada konsumen (terutama di daerah pedesaan), memungkinkan komunikasi di pesawat dan kapal, penyiaran, menyediakan konektivitas data untuk transaksi kartu kredit, dan mendukung jaringan data perusahaan. FSS juga mendukung hubungan *feeder* untuk layanan satelit bergerak, yang memainkan peran penting selama bencana alam dan keadaan darurat lainnya. Alokasi ke *Broadcasting Satellite Service* (BSS) dalam rentang frekuensi ini digunakan untuk menyediakan program televisi untuk lebih dari 33,8 juta rumah tangga (Federal Communications Commission, 2017). FCC menyoroti tiga *band* yang telah menjadi subjek studi domestik dan internasional untuk IMT, yaitu 3,7-4,2 GHz, 5,925-6,425 GHz, dan 6,425-7,125 GHz, dan membuka masukan pada spektrum *mid-band* lain yang dapat dimanfaatkan untuk membuka peluang baru untuk kasus penggunaan *broadband* nirkabel berlisensi dan tidak berlisensi.

Terkait perluasan penggunaan frekuensi 3,7 dan 24 GHz, Ericsson, melalui surat resmi kepada FCC, kurang optimis bahwa sistem *wireless broadband* dan stasiun bumi C-band akan dapat berbagi pita 3,7-4,2 GHz dengan basis *co-channel*. Ericsson mempresentasikan penelitiannya yang menyimpulkan bahwa berbagi *co-channel* antara simpul IMT *Macro basestation* ("BS") dan penerima stasiun bumi FSS membutuhkan jarak pemisahan yang besar, dan mengingat bahwa 65% dari penerima FSS terletak di lokasi perkotaan/subperkotaan, maka jarak pemisahan yang sedemikian besar akan menghilangkan kemungkinan berbagi *co-channel* di daerah berpenduduk. Berbagi antara IMT BS dan FSS, dengan asumsi segmentasi *band* dan penyebaran perkotaan yang khas, dapat dilakukan lebih layak, tergantung pada asumsi yang dibuat untuk karakteristik filter penerima FSS. Ericsson juga mendukung peluang dalam pita 5,925-6,425 GHz dan 6,425-7,125 GHz (berlisensi/tidak), dengan ketentuan bahwa operasi tetap layanan *point-*



to-point incumbent dilindungi dari interferensi berbahaya dan penggunaan tanpa izin dalam 5,925-6,425 GHz dengan dasar teknologi netral (Ericsson, 2018).

Brasil

Pita frekuensi 3600–4200 MHz dialokasikan untuk layanan satelit tetap (satelit C-band yang beroperasi di Brasil mulai dari 3625 MHz atau lebih tinggi). Pita frekuensi 3625–4200 MHz banyak digunakan oleh TV *receive-only* (TVRO). Sejak 1999, Brasil memungkinkan penggunaan pita frekuensi 3400–3600 MHz untuk aplikasi *broadband* nirkabel. Peraturan Brasil mengizinkan implementasi IMT, tetapi belum digunakan karena kemungkinan gangguan *interference* dengan pita berdekatan (Fernandes & Linhares, 2017). Laporan ITU-R M.2109 (2007) menyatakan ada sekitar 20 juta terminal TVRO yang digunakan di seluruh negeri. Selain jumlah stasiun bumi yang terdaftar, ABERT (Radio Brasil dan Asosiasi Penyiaran TV) memperkirakan bahwa saat ini, 72 juta orang menikmati aplikasi domestik dan pengguna akhir C band (terminal TVRO) (Casbaa, 2015).

Pemetaan Global Identifikasi Pita 3,4-3,7 GHz untuk IMT

Gaye (2017), selaku *Principal Customer Solution Engineer* Intelsat, telah memetakan identifikasi frekuensi di 3,4-3,6 GHz di seluruh dunia. Berdasarkan pemetaan tersebut, negara-negara di Region 3 yang utamanya berada di Asia Tenggara, seperti Indonesia, Malaysia, Thailand, dan Vietnam, mengajukan sikap untuk *No Identification*, baik di pita 3,4-3,7 GHz maupun 3,7-4,2 GHz (Casbaa, 2018), di mana pita tersebut telah dialokasikan untuk *Fixed Satellite Service*.

Penggunaan pita frekuensi C-band (termasuk *extended C-band*) diperlukan untuk negara di daerah tropis dengan curah hujan yang jauh lebih tinggi dibanding region lainnya, karena karakter frekuensi C-band yang lebih tahan terhadap gangguan hujan dibanding pita lainnya.

Negara di Region 2 dan 1 hampir seluruhnya melakukan identifikasi untuk pita 3,4-3,6 GHz maupun 3,4-3,7 GHz untuk IMT. Negara-negara di Region 3 yang melakukan identifikasi IMT di pita 3,4-3,7 GHz umumnya didorong oleh

penggunaan yang masih sedikit maupun penghentian atau pemindahan layanan yang menggunakan frekuensi dalam pita 3,4-3,7 GHz. Filipina telah memiliki kebijakan lisensi awal BWA dalam pita 3,4-3,6 GHz, namun mengakibatkan interferensi pada aplikasi FSS C-band, khususnya interferensi ke TVRO, dan diperlukan kebijakan untuk mengurangi interferensi. Hongkong melakukan perubahan alokasi 3,4-3,7 GHz menjadi *mobile service* yang berlaku efektif mulai 2020, dengan *guard band* sebesar 100 MHz untuk mencegah interferensi dengan FSS.

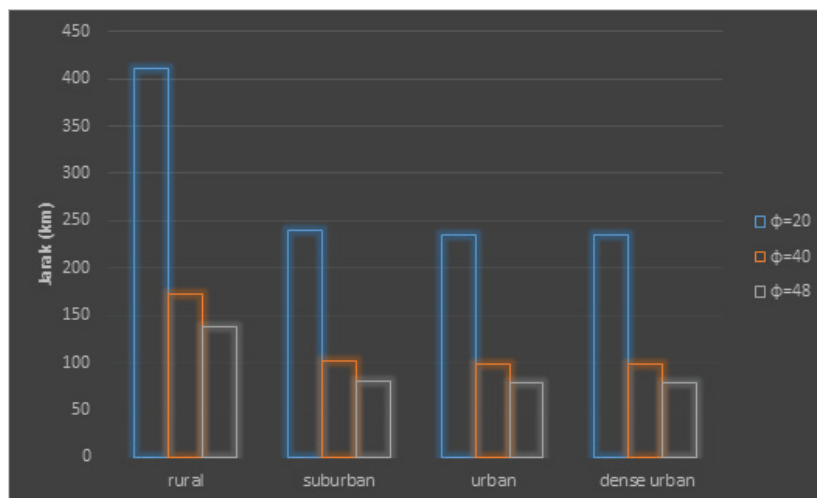
Amerika Serikat, melalui FCC, mengidentifikasi alokasi frekuensi untuk IMT di C-band tidak hanya di 3,4-3,7 GHz, tetapi juga di 3,7-4,2 GHz. Saat ini, *bandwidth* sebesar 500 MHz di alokasi frekuensi 3,7-4,2 GHz dialokasikan eksklusif untuk penggunaan FSS dan FS. Singapura, negara di Region 3 yang telah menetapkan pita 3,4-3,6 GHz untuk IMT, berdasarkan WRC-15 menyatakan bahwa frekuensi 3,8-4,2 GHz dalam status "No Change". Sementara, India tidak mengidentifikasi pita 3,6-4,2 GHz untuk IMT. Korea dan Jepang merupakan negara Region 3 yang mengidentifikasi alokasi *band* 3,4-4,2 GHz seluruhnya untuk IMT (Casbaa, 2018).



Analisis Interferensi IMT-2020 dan FSS

Co-Channel Interference

Perhitungan jarak proteksi untuk *co-channel sharing* antara pemancar IMT-2020 dan stasiun bumi FSS dilakukan untuk variasi sudut antara penginterferensi dan stasiun bumi FSS, *equivalent isotropically radiated power* (eirp), dan jumlah penginterferensi. Pengaruh sudut penginterferensi dan stasiun bumi FSS terhadap jarak proteksi untuk variasi sudut $\varphi = 20^\circ$, $\varphi = 40^\circ$, $\varphi \geq 48$, dan eirp 73 dBm, ditunjukkan pada Gambar 16.

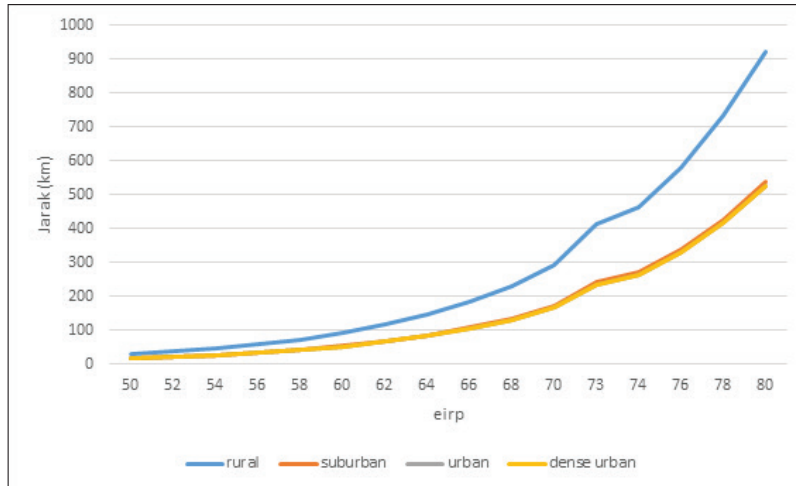


Gambar 16. Pengaruh Sudut Penginterferensi dan Stasiun Bumi FSS terhadap Jarak Proteksi

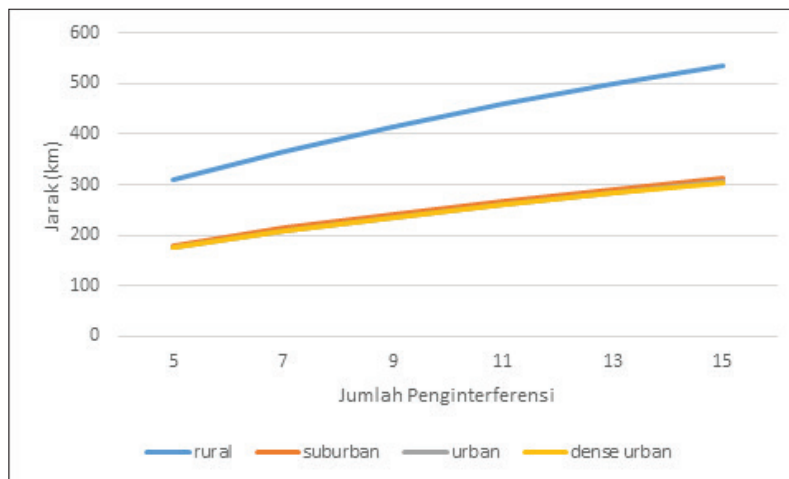
Dari Gambar 16, untuk variasi sudut yang sama, misal $\varphi = 40^\circ$, jarak proteksi paling besar berada di wilayah rural, yakni 173 km, dan yang terkecil di wilayah *dense urban*, yakni 98,45 km, sesuai dengan besarnya clutter loss pada masing-masing jenis wilayah. Gambar 16 menunjukkan jarak proteksi paling besar untuk $\varphi = 20^\circ$ dan semakin berkurang untuk φ yang lebih besar.

Ilustrasi pengaruh variasi eirp ($\varphi = 20^\circ$) terhadap jarak proteksi dan jumlah penginterferensi ($\varphi \geq 48^\circ$) ditunjukkan masing-masing pada Gambar 17 dan Gambar 18. Batas eirp untuk teknologi 5G merupakan salah satu parameter

yang esensial dalam *deployment* 5G. Dilihat dari Gambar 17, kenaikan eirp dapat menaikkan jarak proteksi cukup signifikan, yakni dari 66 km pada eirp 62 dBm menjadi 234 km pada eirp 73 dBm di wilayah *dense urban*.



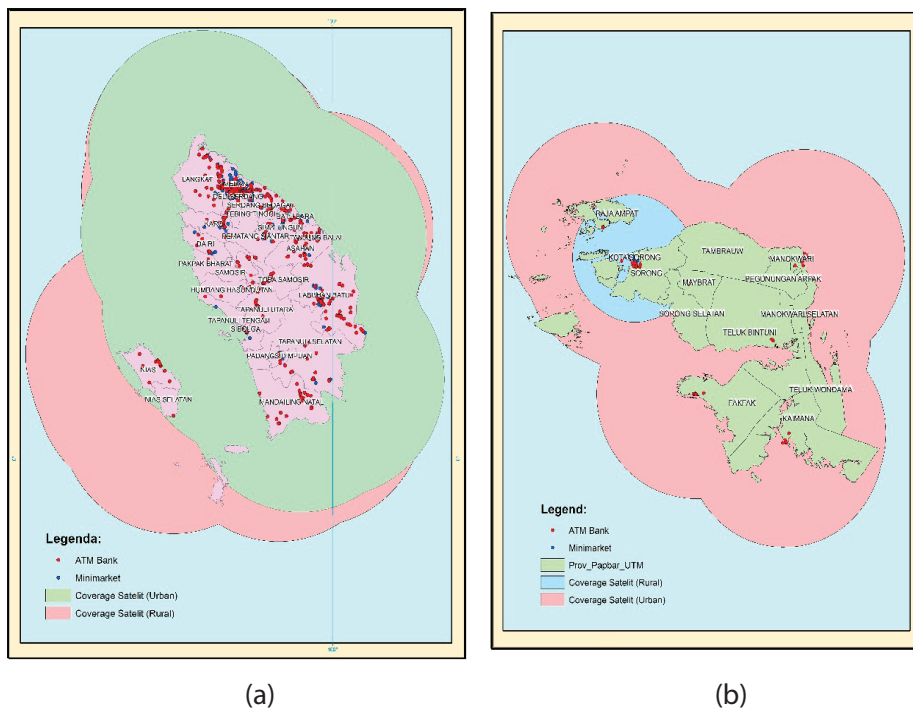
Gambar 17. Pengaruh Eirp terhadap Jarak Proteksi



Gambar 18. Pengaruh Jumlah Penginterferensi terhadap Jarak Proteksi

Gambar 19 (a) dan (b) menunjukkan pemetaan stasiun bumi VSAT dengan populasi seluruh ATM bank (asumsi seluruhnya menggunakan VSAT) dan retail (asumsi terdapat ATM bank di setiap retail minimarket nasional). Selanjutnya, dilakukan simulasi *co-channel sharing*, berupa jarak proteksi untuk wilayah

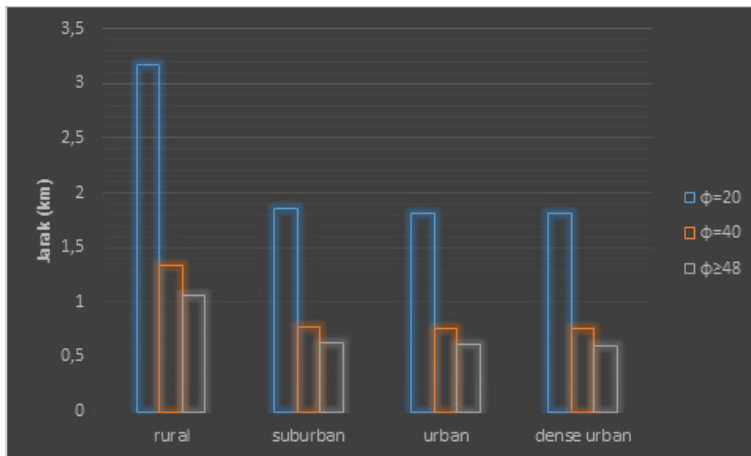
rural 173 km dan wilayah urban 98 km (untuk eirp = 73 dBm dan $\phi = 40^\circ$). Arsiran berwarna hijau pada Gambar 19 (a) dan wilayah berwarna biru pada Gambar 19 (b) menunjukkan wilayah yang dapat di-sharing untuk urban, sedangkan arsiran berwarna merah muda menunjukkan wilayah yang dapat di-sharing untuk rural. Secara umum, dapat disimpulkan bahwa dengan jarak proteksi yang cukup besar, baik di wilayah urban maupun rural, co-channel sharing tidak memungkinkan untuk dilakukan.



Gambar 19. Ilustrasi Co-Channel Sharing pada Sampel Provinsi (a) Sumatera Utara dan (b) Papua Barat

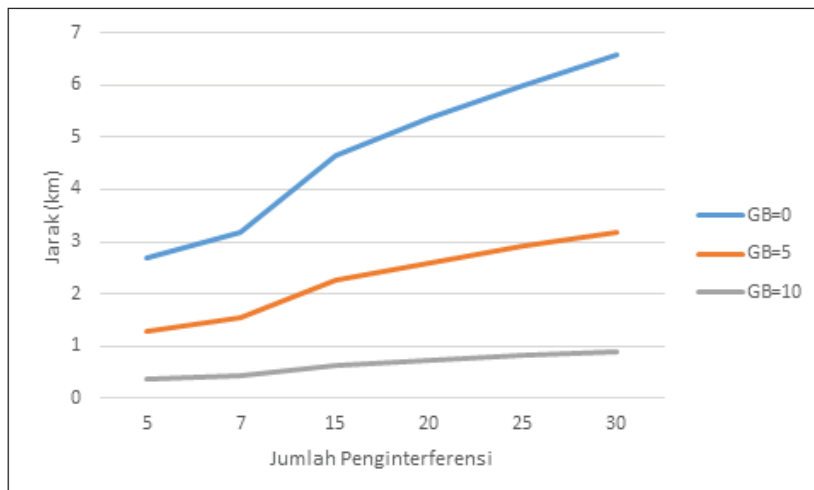
Adjacent Channel Interference

Perhitungan jarak proteksi dan *guard band* antara pemancar IMT-2020 dan stasiun bumi FSS pada *adjacent channel sharing* dilakukan untuk variasi sudut antara penginterferensi dan stasiun bumi FSS, jumlah penginterferensi, *guard band* (GB), dan filter. Untuk variasi sudut ϕ , eirp = 73 dBm, jumlah penginterferensi = 7, dan GB = 0 pada Gambar 20, jarak proteksi terkecil ditunjukkan untuk $\phi \geq 48$ di wilayah *dense urban*, yaitu < 1 km.



Gambar 20. Pengaruh Sudut Penginterferensi dan Stasiun Bumi FSS terhadap Jarak Proteksi

Pengaruh jumlah penginterferensi dan GB terhadap jarak proteksi ditunjukkan pada Gambar 21, di mana semakin besar jumlah penginterferensi, semakin besar jarak proteksi yang dibutuhkan antara pemancar IMT dan stasiun bumi FSS. Jarak proteksi terkecil didapatkan untuk *guard band* 10 MHz, di mana emisi *out-of band* (OOB) pemancar IMT juga paling kecil dibandingkan dengan emisi OOB pada *guard band* 0 MHz dan 5 MHz.



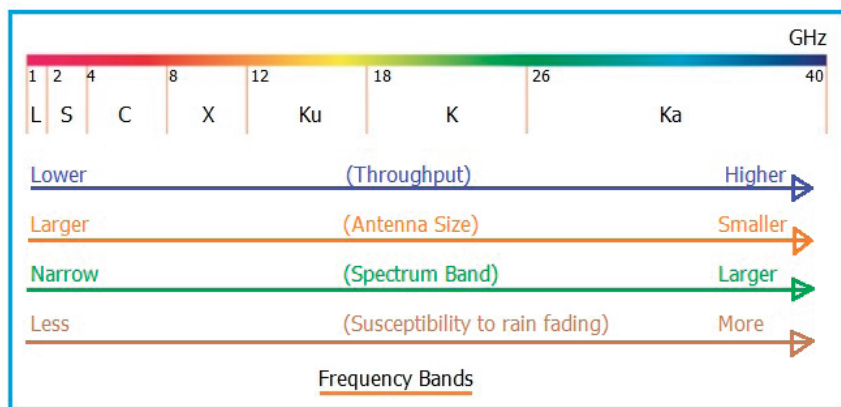
Gambar 21. Pengaruh Jumlah Penginterferensi dan Guard Band terhadap Jarak Proteksi

DAMPAK BISNIS DAN EKONOMI SHARING IMT DAN FSS

Implikasi *Sharing* FSS dan IMT di Indonesia

Pemanfaatan Pita Frekuensi C di Indonesia

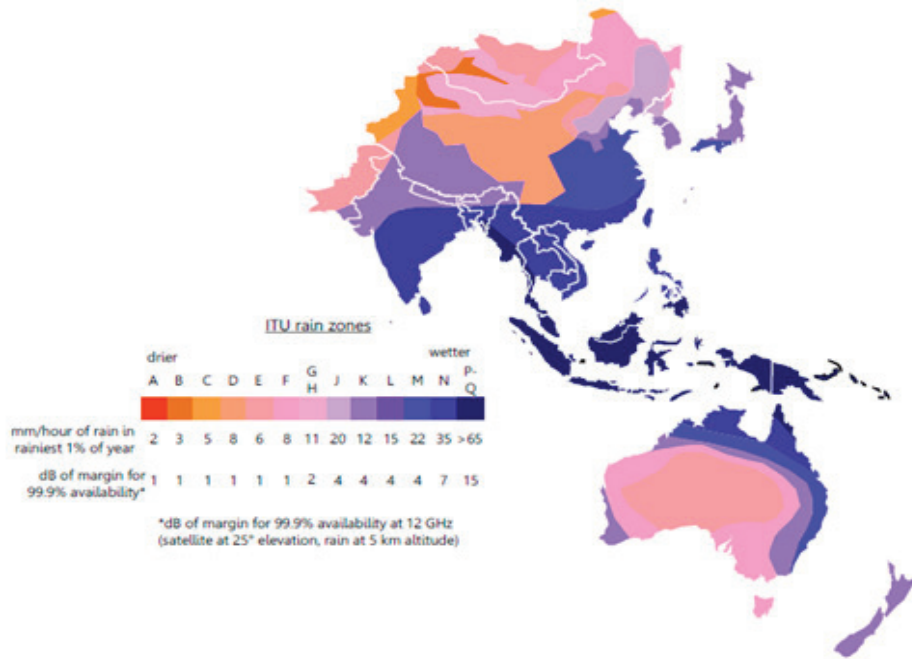
Pita frekuensi C merupakan spektrum frekuensi dalam sistem komunikasi satelit. Frekuensi yang dimiliki pita C tergolong kecil dibanding pita frekuensi terbaru seperti Ku atau Ka. Meski demikian, pita C memiliki kelebihan utama dalam menghadapi cuaca buruk seperti hujan atau badai.



Sumber: RF Wireless World, 2017

Gambar 22. Perbandingan Pita Frekuensi

Indonesia adalah negara yang hingga saat ini masih menggunakan satelit frekuensi pita C, dengan alasan kondisi cuaca di Indonesia yang lebih sering hujan, sehingga tidak cocok menggunakan satelit dengan teknologi pita frekuensi Ku atau Ka.



Sumber: (Euroconsult, 2014)

Gambar 23. Asia: Sumber Redaman Hujan

Di Indonesia, diperkirakan bahwa 12-17 juta antena C-band digunakan untuk penerimaan televisi individu, dan lebih dari 124.600 C-band VSAT digunakan untuk berbagai aplikasi telekomunikasi vital (Euroconsult, 2014). *Very Small Aperture Terminal* (VSAT) merupakan jaringan atau sistem komunikasi satelit yang memiliki fungsi utama untuk menerima dan mengirim data ke satelit. Teknologi VSAT digunakan di dunia perbankan untuk penerapan komunikasi ATM.

Pasar terbesar dalam hal VSAT yang digunakan adalah perbankan, dan khususnya komunikasi untuk terminal ATM, dengan perkiraan sejumlah 75.000 antena terpasang (Euroconsult, 2014). Semua ini menggunakan C-band, untuk memenuhi *service-level agreements* (SLA) yang biasanya membutuhkan *link* agar tersedia setidaknya 99,5% dari waktu.

Tabel 4. Indonesia: Jumlah Terminal V-SAT C-Band Aktif, 2014

User	Terminals
Banks (fixed ATM networks)	~75.000
Banks (other networks)	~4.350
Retail (Alfamart, Indomaret, others)	~30.000
Industrial and utilities (oil and gas, PLN)	>750
Rural communications	>6.850
Public safety and security	831
Other public services	~6.780
Total	~124.561

Sumber: (Euroconsult, 2014)

Penggunaan sistem komunikasi VSAT tidak hanya dipergunakan pada perbankan saja. Di Indonesia, sistem komunikasi ini digunakan juga pada bisnis telekomunikasi, pertambangan, bisnis transportasi, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), dan instansi-instansi pemerintah.

Sektor Perbankan

Tabel 5. Pertumbuhan Jumlah Mesin ATM Perbankan

Periode	Tahun					Tahun 2018				
	2013	2014	2015	2016	2017	Januari	Februari	Maret	April	Mei
Mesin ATM	75.877	90.678	99.286	103.419	106.653	106.632	106.483	107.085	107.146	107.282
Mesin EDC	634.729	842.651	1.005.193	1.050.248	1.237.309	1.211.504	1.245.725	1.255.233	1.264.394	1.279.292
Jumlah Merchant	343.215	462.327	567.554	602.46	698.482	703.658	725.509	730.065	734.096	737.487

Sumber: Bank Indonesia, 2018

Tabel 5 menjelaskan bahwa pada akhir tahun 2013, mesin ATM perbankan berjumlah 75 ribu, di mana semua menggunakan layanan VSAT, berdasarkan tabel di atas.

Pertahanan dan Keamanan

Militer Indonesia akan segera memiliki satelit sendiri. Rencananya, satelit komunikasi militer buatan konsorsium Eropa, Airbus Defence and Space, akan diluncurkan pada 2019 dan akan beroperasi pada frekuensi rendah L-Band. Berbeda dengan BRIsat yang digunakan TNI sebagai alat bantu pemantauan daerah terpencil, satelit buatan Airbus ini akan digunakan untuk pengumpulan data intelijen, pengintaian, navigasi, dan komunikasi militer.

Markas Besar (Mabes) TNI dan Kepolisian Republik Indonesia (Polri) telah memanfaatkan jaringan BRIsat sebagai jalur komunikasi dengan pangkalan udara yang terletak di daerah 3T (Terdepan, Tertinggal, dan Terluar). *Launching* uji coba pemanfaatan jaringan BRIsat dilaksanakan di Mabes TNI Cilangkap.

Sebelumnya, pada pertengahan Juni 2017, Bank BRI telah menyerahkan pemanfaatan 4 (empat) slot transponder BRIsat, yang terdiri dari 2 (dua) transponder C-band dan 2 (dua) transponder Ku-band-masing-masing setara 36 MHz-, kepada 5 (lima) kementerian dan lembaga negara, yakni Kepolisian Negara RI, Markas Besar Tentara Nasional Indonesia, Badan Intelijen Negara RI, Badan Keamanan Laut, dan Kementerian Keuangan RI (Kementerian Kominfo, 2017).

Penyiaran

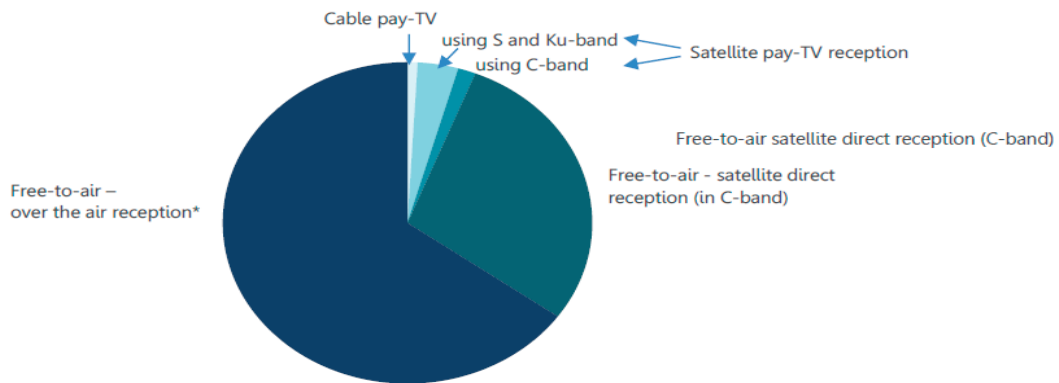
TV *free-to-air* adalah yang paling dominan di Indonesia. Data menunjukkan bahwa:

- Kira-kira kurang dari 500.000 rumah tangga menerima layanan TV berbayar melalui jaringan kabel, ini tidak termasuk penerimaan konten *free-to-air* melalui sistem kabel ilegal;
- Sekitar 2,3 juta berlangganan layanan TV berbayar satelit pada tahun 2012.

Informasi pendapatan di sektor TV tidak lengkap. Namun, perkiraan berikut tersedia:

- Pendapatan iklan TV: mencapai sekitar \$5 miliar;
- Pendapatan TV berbayar: mencapai sekitar \$450 juta.

Exh. 7: BREAKDOWN OF TV HOUSEHOLDS BY TYPE OF RECEPTION (2012)



Gambar 24. Rumah Tangga TV dengan Jenis Penerimaan

Karena mereka menjamin penerimaan dengan kualitas tinggi, piring C-band juga banyak digunakan oleh *broadcaster* di beberapa negara Asia untuk menjangkau pemirsa di rumah mereka, atau untuk melengkapi distribusi kabel di luar pusat kota. Tabel 6 menunjukkan beberapa platform televisi berbayar yang muncul di Indonesia.

Tabel 6. Satellite-Based Pay-TV Platforms Broadcasting Their Channels in C-Band

PAY-TV PLATFORM	COUNTRY	YEAR OF LAUNCH	TV CHANNELS	ESTIMATED SUBSCRIBERS
CTH	Thailand	2013	13	200,000
GMMZ	Thailand	2013	38	100,000
K Vision (Kompas TV)	Indonesia	2014	28	n.a.
SkyNindo	Indonesia	2010	62	100,000
Sky Pacific	Pacific Islands	2005	18	30,000
Topas TV	Indonesia	2012	61	40,000
TransVision	Indonesia	2008	86	600,000

Sumber: Euroconsult research and Euroconsult report DTH Platforms, Key Economics and Prospects, 2013 Edition

Klimatologi

Hingga tahun 2017, BMKG telah mengoperasikan 41 Radar Doppler, yang terdiri dari 37 Radar tipe C-band dan 4 buah radar tipe X-band. Perbedaan antara kedua tipe ini adalah panjang gelombang dan frekuensi kerja yang digunakan. Radar C-band memiliki panjang gelombang 5 cm dengan frekuensi *transmitter* 4-8 GHz, yang baik digunakan untuk pengamatan jarak menengah. Sedangkan, radar tipe X-band beroperasi pada frekuensi 8–12 GHz dan panjang gelombang 3 cm, yang cocok untuk pengamatan jarak pendek (Meteorologi Soekarno-Hatta, 2018).

Sektor Lainnya

C-Band digunakan untuk konektivitas data dan suara ke lokasi eksplorasi minyak jarak jauh oleh PT Pertamina EP, dan untuk konektivitas ke kapal penumpang dan komersial oleh AJN Solusindo.

C-Band juga digunakan sebagai *cellular backhaul* untuk menghubungkan *remote mobile towers* (BTS) ke *base stations* (BSC) oleh Telkom dan Indosat.

Dua retail terbesar, Indomaret dan Alfamart, masing-masing mengoperasikan sekitar 6.000 C-band VSAT, setara dengan dua pertiga dari total *outlet* mereka pada akhir tahun 2013, untuk menghubungkan ATM yang dipasang di tempat mereka (Euroconsult, 2014).

Pembahasan

C-band digunakan untuk komunikasi satelit di wilayah Asia-Pasifik untuk banyak layanan, termasuk seperti jaringan VSAT, layanan Internet, *point-to-multipoint link*, pengumpulan berita satelit, siaran TV ke *satellite master antenna television* (SMATV), penerima *direct-to-home* (DTH), dan *feeder links* untuk layanan satelit bergerak.

Ketersediaan *link* satelit C-band sangat penting bagi berbagai sektor ekonomi Indonesia, khususnya di area rural, di mana selain transaksi pada BUMDes, ataupun koperasi, dari sisi lain, sebagian besar warga di area rural belum menggunakan fasilitas *mobile/Internet banking*, sehingga ATM merupakan masih destinasi utama.



Kontribusi C-band secara langsung mendukung industri televisi. Jutaan orang di Indonesia menggunakan antena C-band untuk menerima siaran televisi. Komunitas pengguna terbesar kedua adalah sektor keuangan. Hampir 100.000 antena C-band telah dipasang, dan banyak lagi yang terus diluncurkan, di lokasi perkotaan dan perdesaan, untuk mendukung ATM dan kantor cabang interkoneksi. ATM sendiri sekarang melakukan hampir 4,5 miliar transaksi per tahun melalui tautan C-band. Juga pada sektor lain, termasuk beberapa sektor ekonomi dan eksportir, terutama industri minyak, gas, dan pertambangan, serta infrastruktur penting seperti ritel.

Ada beberapa jenis interferensi telekomunikasi VSAT yang diketahui sesuai rekomendasi ITU-R, yaitu interferensi dalam pita (*in-band interference*), interferensi berdekatan atau emisi yang tidak diinginkan (*adjacent interference or unwanted emissions*), pergeseran LNA/LNB (*LNA/LNB overdrive*), dan intermodulasi LNA/LNB (*LNB/LNA intermodulation*). *Sharing* antara IMT-2020 dan FSS hanya dapat dilakukan jika stasiun bumi FSS berada di lokasi spesifik yang diketahui, dan penyebaran IMT-2020 terbatas pada area di luar jarak minimum pemisah yang diperlukan setiap azimut untuk melindungi stasiun bumi FSS spesifik ini. Kriteria perlindungan FSS harus digunakan untuk menentukan jarak pemisah yang diperlukan untuk memastikan perlindungan stasiun bumi FSS yang ada dan yang direncanakan. Jarak pemisah yang diharuskan untuk melindungi penerima FSS dari peralatan IMT adalah lebih dari puluhan kilometer untuk operasi frekuensi bersama, 0,5 hingga 5 kilometer untuk emisi *spurious out-of-band* dan menghindari *overdrive* LNA/LNBs stasiun bumi.

Semua studi *sharing* dan uji lapangan serta pengalaman praktis dari negara lain menunjukkan bahwa *sharing* antara IMT dan Layanan Satelit tidak dimungkinkan dalam wilayah geografis yang kecil. Menerapkan IMT di C-band di wilayah kecil dapat menghapus penerimaan satelit C-band yang ada, tidak hanya di *band* yang *overlapping*, tetapi di seluruh C-band, dan menyebabkan dampak yang merusak terhadap layanan satelit. Tidak terpenuhinya kriteria perlindungan ini akan berdampak besar terhadap konektivitas layanan FSS yang sudah tersebar sangat luas di Indonesia. Penyebaran IMT-2020 sendiri akan membatasi stasiun bumi FSS masa depan di area yang sama di *band-band* 3400-4200 MHz dan 4500-4800 MHz, dikarenakan kriteria jarak perlindungan yang sangat besar, penyebaran ini akan menghambat pertumbuhan jumlah mesin ATM pada perbankan yang sangat berperan penting dalam pembangunan ekonomi nasional.



Kesimpulan dan Rekomendasi

Kesimpulan

1. Beberapa negara di Region 3, yaitu: Indonesia, Malaysia, Thailand, Vietnam, dan Papua Nugini, tidak melakukan identifikasi pita 3,4—4,2 GHz untuk IMT, disebabkan kondisi geografis di negara-negara tersebut, di mana curah hujan relatif tinggi dan penggunaan C-band yang masif untuk FSS;
2. Berdasarkan hasil perhitungan:
 - a) Dengan menggunakan variasi sudut $\varphi = 20^\circ$, $\varphi = 40^\circ$, $\varphi \geq 48^\circ$, dan parameter EIRP IMT = 50 dBm akan menghasilkan jarak proteksi masing-masing sebesar 29,14, 12,25, dan 9,79 km untuk wilayah rural. Hasil perhitungan dengan kategori wilayah lain juga menunjukkan bahwa semakin besar sudut antara penginterferensi dan *main beam* stasiun bumi, semakin berkurang jarak proteksi, sehingga semakin mengurangi kemungkinan interferensi antara kedua sistem;
 - b) Jarak proteksi antara *base station* IMT-2020 dan stasiun bumi FSS pada perhitungan *co-channel sharing* cukup besar. Dengan menggunakan parameter EIRP IMT = 73 dBm, $\varphi = 20^\circ$, dihasilkan jarak proteksi masing-masing untuk wilayah rural, suburban, dan urban sebesar 412, 240, dan 234 km. Di sisi lain, untuk hasil perhitungan *adjacent channel sharing*, *guardband* yang dibutuhkan minimal sebesar 10 MHz dengan *separation distance* 3,18 km pada satu *tier* jaringan untuk meminimalkan interferensi;
 - c) Penggunaan filter sebesar 10, 15, dan 20 dB dapat mengurangi jarak proteksi masing-masing sebesar 68%, 82%, dan 90%;
3. *Sharing* frekuensi antara IMT dan FSS pada pita 3,4—4,2 GHz akan menghambat pertumbuhan stasiun bumi Indonesia, yang saat ini banyak dimanfaatkan oleh sektor perbankan dalam meningkatkan inklusivitas ekonomi di Indonesia;
4. Potensi *sharing co-channel* tidak memungkinkan untuk dilakukan, terutama di kota-kota besar, karena *separation distance* yang cukup

besar, sementara jumlah stasiun bumi *existing* cukup masif. Di sisi lain, *sharing adjacent channel* dapat dilakukan dengan beberapa kondisi.

Rekomendasi

1. *Sharing* antara IMT dan FSS dapat dilakukan dengan *sharing adjacent-channel* dengan kondisi berikut:
 - Alokasi *guard band* antara sistem IMT dan FSS direkomendasikan minimal 10 MHz. Namun, tetap diperlukan perhitungan mengenai utilisasi stasiun bumi *existing* dan masa depan, untuk menentukan berapa *bandwidth* yang dapat dialokasikan untuk IMT-2020;
 - Koordinasi antara stasiun IMT dan stasiun bumi FSS dilakukan dengan cara mengarahkan antena pemancar BS IMT-2020 jauh dari jangkauan pancaran antena stasiun bumi FSS (sudut antara penginterferensi dan *axis main beam* stasiun bumi $\geq 40^\circ$);
 - Regulator menginventarisasi dan mewajibkan penyelenggara stasiun bumi untuk mendaftarkan seluruh stasiun bumi yang berada di Indonesia secara berkala, guna memudahkan koordinasi antara penyelenggara stasiun bumi *existing* dan penyelenggara IMT yang akan di-*deploy*, termasuk kebutuhan insentif sebagai kompensasi bagi penyelenggara FSS yang perlu melakukan penyesuaian di sisi infrastruktur, untuk melakukan *sharing* dengan penyelenggara IMT di pita frekuensi yang ditentukan.
 - Diperlukan pemasangan filter, di sisi stasiun bumi untuk meminimalkan interferensi, terutama dari *spurious emission* pemancar IMT;
2. Perlu dilakukan uji coba lapangan untuk memastikan koeksistensi antara stasiun bumi FSS dan pemancar IMT, menggunakan beberapa skenario dengan variasi parameter sudut antara pemancar IMT dan stasiun bumi FSS, tinggi antena IMT dan FSS, serta filter.

Daftar Pustaka

- 3GPP. 3GPP TS 38.104: Technical Specification Group Radio Access Network; NR; Base Station (BS) Radio Transmission and Reception (Release 15) (2018).
- 5G Forum. (2015). *5G Spectrum Issues in Korea*.
- Abdulrazak, L. F. (2018). *Coexistence of IMT-Advanced Systems for Spectrum Sharing with FSS Receivers in C-Band and Extended C-Band*.
- Abdulrazak, L. F., Shamsan, Z. A., Aswad, A. K., & Rahman, T. A. (2008). Novel computation of expecting interference between FSS and IMT-Advanced for Malaysia. *2008 IEEE International RF and Microwave Conference, RFM 2008*, 367–371. <https://doi.org/10.1109/RFM.2008.4897367>
- Abdulrazak, L. F., Shamsan, Z. A., & Rahman, T. A. (2008). Potentiality of Interference Correction between FSS and FWA for Malaysia. In *the World Scientific and Engineering Academy and Society Conferences* (pp. 84–89). Istanbul, Turkey.
- Anatel. (2015). *Plano de atribuição, destinação e distribuição de frequências no brasil*.
- ARFM MIC Vietnam. (2015). *Service , Spectrum demand on C-band and Regulatory Issues*. ITU International Satellite Symposium Da Nang, Vietnam.
- ASIA-PACIFIC TELECOMMUNITY. (2014). Papua New Guinea , Republic of Fiji , Nauru , Solomon Islands & Tuvalu THE CRITICALITY OF C-BAND FOR SATELLITE COMMUNICATIONS. Brisbane.
- Bank Indonesia. (2018). *Statistik Sistem Pembayaran - infrastruktur APMK*.
- Casbaa. (2015). *CASBAA Briefing Paper : C-band TVROs* (Vol. 2109).
- Casbaa. (2018). *C-Band Invasion*.
- Chen, J., Qian, Z., Wang, T., & Li, X. (2018). Sharing Study of IMT-2020 (5G) and SRS in 25 . 5- Sharing Study of IMT-2020 (5G) and SRS in 25.5-27GHz, 2020.

- Communication Authority. (2018). *Change in the Allocation of the 3.4 – 3.7 GHz Band*.
- Ditjen SDPPI Kementerian Kominfo. (2017). *Direktorat Jenderal Sumber Daya dan Perangkat Pos dan Informatika Semester-1 Tahun 2017*.
- ECC. (2017a). *Initial compatibility studies of IMT-2020 and automotive radar in the frequency band 76-81 GHz for AI 1.13*.
- ECC. (2017b). *Study of coexistence between IMT-2020 and EESS (s-E) GSO data relay earth stations at 26 GHz*.
- ECC. (2018). *Draft ECC Report 281: Analysis of the Suitability of the Regulatory Technical Conditions for 5G MFCN Operation in 3800 MHz Band*.
- Elbert, B. R. (2008). *Introduction to Satellite Communication*. Artech House. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Erfiani, Sahara, & Heriyanto. (2017). *Data Statistik Ditjen SDPPI*. (H. Santoso, Ed.) (Semester I). Bogor: IPB Press.
- Ericsson. (2018). *Re: Expanding Flexible Use in Mid-Band Spectrum Between 3.7 and 24 GHz, GN Docket No. 17-183*.
- Euroconsult. (2014). *Assessment of C-Band Usage in Asian Countries*. Paris.
- Federal Communication Commission. (2009). *FCC Online Table of Frequency Allocations*.
- Federal Communications Commission. (2017). *Expanding Flexible Use in Mid-Band Spectrum Between 3.7 and 24 GHz (Notice of Inquiry)*.
- Gaye, A. (2017). *RRS-17 Africa Forum " Emerging Innovative Technologies ,"* 1–18.
- GSA. (2017). *THE FUTURE OF IMT IN THE 3300-4200 MHz FREQUENCY RANGE*.
- Guidolin, F., & Nekovee, M. (2015). *Investigating spectrum sharing between 5G millimeter wave networks and fixed satellite systems. 2015 IEEE Globecom Workshops, GC Wkshps 2015 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/GLOCOMW.2015.7414196>

- Guidolin, F., Nekovee, M., Badia, L., & Zorzi, M. (2015). A study on the coexistence of fixed satellite service and cellular networks in a mmWave scenario. *IEEE International Conference on Communications, 2015–Septe*, 2444–2449. <https://doi.org/10.1109/ICC.2015.7248691>
- Hassan, W. A., Jo, H. S., & Tharek, A. R. (2017). The Feasibility of Coexistence between 5G and Existing Services in the IMT-2020 Candidate Bands in Malaysia. *IEEE Access*, 5(c), 14867–14888. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2017.2690309>
- Intelsat. (2015). C-Band: Satellite Spectrum Vital to Global Communications.
- ITU. (2012). Regulation of Global Broadband Satellite Communications: Broadband Series. *ITU*, 56.
- ITU. (2016). Radio Regulations Articles, 487–497. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394583-9.00020-X>
- ITU-R. (2010). Studies on compatibility of broadband wireless access systems and fixed-satellite service networks in the 3 400-4 200 MHz band S Series Fixed satellite service, 2199.
- ITU-R. (2013). Use of very small aperture terminals (VSATs) S Series Fixed satellite service, 2278.
- ITU-R. (2015). Sharing studies between International Mobile Telecommunication-Advanced systems and geostationary satellite networks in the fixed-satellite service in the 3 400-4 200 MHz and 4 500-4 800 MHz frequency bands in the WRC study cycle leading to WRC-15 S Serie, 0.
- Kementerian Kominfo. (2017). Empat Transponder BRIsat Untuk Kebutuhan Kemanan Nasional.
- Kerans, A. J., & Mesquita, N. (2016). The technical-economics of spectrum use in the “C-Band” downlink band (3400 -4200 MHz); Satellite vs. mobile broadband. In *2015, 9th International Conference on Signal Processing and Communication Systems, ICSPCS 2015 - Proceedings*. <https://doi.org/10.1109/ICSPCS.2015.7391740>



- Kim, S., Visotsky, E., Moorut, P., Bechta, K., Ghosh, A., & Dietrich, C. (2017). Coexistence of 5G with the incumbents in the 28 and 70 GHz bands. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 35(6), 1254–1268. <https://doi.org/10.1109/JSAC.2017.2687238>
- Kominfo. Tabel Spektrum Frekuensi Radio Indonesia, Pub. L. No. Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika No. 25 Tahun 2014 (2014). Indonesia.
- Malaysian Communications and Multimedia Commission. (2008). *Satellite Industry Development. Satellite Industry Development* (Vol. 1).
- Malaysian Communications and Multimedia Commission. (2017). *Spektrum Plan Issued 2017*.
- Meteorologi Soekarno-Hatta. (2018). Identifikasi Debu Vulkanik dan Ketinggian Erupsi Menggunakan Radar Cuaca. *Buletin METAR*, 1 (Januari), 16–20.
- Ministry of Communications and Information Technology India. (2011). *National Frequency Allocation*.
- Moakkit, H. (2017). Regulations , WRC-19 : Challenges and Opportunities Ahead Intelsat is the Pioneer and Leader in Satellite Communications. *ITU International Satellite Symposium 2017*, (May), 1–14.
- Murara, B. (n.d.). IMT-2020 Network High Level Requirements, How African Countries Can Cope.
- National Information and Communications Technology Authority. (2017). *Papua New Guinea Table of Radio Frequency Allocations R*.
- National Telecommunication Commission. (2007). *National (NTC) Frequency Allocations*.
- NBTC. (2012). Thailand Table of Frequency Allocations.
- Puslitbang SDPPPI. (2016). *Kajian Lanjutan 5G Indonesia. Puslitbang Sumber Daya, Perangkat, dan Penyelenggaraan Pos dan Informatika Badan Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Manusia*. Jakarta.
- Sari, L., & Mahyastuty, V. W. (2013). Interference Potential of FSS and BWA on the Extended C-Band. *Telkomnika*, 11(2), 373–379.
- Satellite Industry Association. (2011). *SATELLITE 101 : Satellite Technology and Services Satellites in the World* â€™s Communications Industry, (October).

SATMARIN. (2018). L-BAND, C-BAND, KU-BAND AND KA-BAND.

Setiawan, B., & Aksah, R. L. O. (2017). Studi Kasus Perebutan Frekuensi 3600-4200MHz Antara Fixed Satellite Service Dan International Mobile Telecommunication Dengan Pendekatan Regulatory Impact Analysis. *Jurnal Telekomunikasi Dan Komputer*, 7(3), 267–296.

Shamsan, Z. A., Syed-Yusof, S. K., & Rahman, T. A. (2008). Toward Coexistence and Sharing between IMT-Advanced and Existing Fixed Systems. *International Journal of Computer Science and Security*, 2(3), 30–47.

Straight Path. (2016). Use of Spectrum Bands Above 24 GHz for Mobile Radio Services.

Susilawati, I., & Eng, M. (2009). Teknik Telekomunikasi Dasar. Jakarta.

Tan, H., Wang, T., Chen, J., He, T., & Deng, Z. (2017). Preliminary Coexistence Studies between IMT-2020 systems and inter-satellite service in 26 GHz. *MATEC Web of Conferences*, 139, 27. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201713900027>

Telkomsel. (2018). Telkomsel 5G Showcase Asian Games 2018: Experience the Energy of Digital Indonesia. Telkomsel.

Traveltronic. (2014). KU Band PROs KA Band PROs KU Band CONs KA Band CONs, 2014.

Wang, W., Zhou, F., Huang, W., Wang, B., & Zhang, Y. (2010). Coexistence studies between LTE system and earth station of fixed satellite service in the 3400-3600 MHz frequency bands in China. *Proceedings - 2010 3rd IEEE International Conference on Broadband Network and Multimedia Technology, IC-BNMT2010*, 1125–1130. <https://doi.org/10.1109/ICBNMT.2010.5705265>

Yokope, P. (2013). C-BAND WRC 15: A Regulatory Priority for the Pacific Islands.

Yokope, P. (2016). ITU/PITA Regional Seminar 2016 for Asia Pacific.



