

1. Pendahuluan :

Negara Indonesia dengan luas wilayah 1,9 juta km², merupakan Negara terluas ke-15 di dunia dengan jumlah penduduk lebih dari 220 juta orang dengan sebaran kepadatan yang sangat bervariasi, memiliki penetrasi akses broadband digital yang sangat rendah. Kondisi ini tentu unik dibanding negara-negara lain yang juga tertarik untuk mengembangkan jaringan akses broadband digital termasuk menggunakan BWA di 3,5 GHz.

Mengingat sebelumnya band 3,5 GHz juga digunakan oleh satellite ext-C, pemerintah sudah menerbitkan aturan sharing di 3,5 GHz (3,4-3,7 GHz) antara BWA dan FSS yang tertuang dalam KEP DIR 119/2000. Dalam tulisan ini akan dikaji bagaimana kemungkinan sharing, metode sharing yang didasarkan pada referensi ITU, spesifikasi product, dan pengalaman lapangan selama 6 tahun implementasi BWA 3,5 GHz di Indonesia.

2. Daftar Singkatan :

ACI : Adjacent Channel Interference
APC : Automatic Power Control
BER : Bit Error Rate
BSU : Base Station Unit
BWA : Broadband Wireless Access
CCI : Co-channel Interference
C/I : Carrier to Interference Ratio
EIRP : Equivalent Isotropic Radiated Power
ES : Earth Station
FDD : Frequency Division Duplexing
FSS : Fixed Satellite Service
LNA : Low Noise Amplifier
LNB : Low Noise Baseband Amplifier
QAM : Quadrature Amplitude Modulation
QPSK : Quadrature Phase Shift Keying
SCPC : Single Channel Per Carrier
SU : Subscriber Unit
TDD : Time Division Duplexing

3. Parameter FSS dan BWA

Sebagai bahan asumsi satellite ext-C digunakan untuk SCPC backbone dengan speed E1 dan modulasi QPSK yang membutuhkan C/I 10 dB untuk mencapai BER lebih baik dari 10^{-7} (referensi product modem satellite Comtech). ES ini dipasang di salah satu site di Cikarang dengan parameter sesuai dengan table 1 berikut :

Parameters	Telkom 1	Palapa	Unit
Satellite Location	108	118	deg.E.
Earth Station latitude	-6,1517	-6,1517	deg.N
Earth Station longitude	106,5	106,5	deg.E
Azimuth Angle	13,71	61,83	Deg, thd utara
Elevation Angle	82,54	74,66	deg
Rx. Antenna Diameter	3,8	23,8	m
Antenna Efficiency	60%	60%	
Frequency downlink (GHz)	3410-3411,9	3410-3411,9	MHz
Antenna Gain	40,66	40,66	dBi
Downlink EIRP per transponder at saturated flux density at peak	71	71	dBm/36MHz
Transponder Bandwidth	36,00	36,00	MHz
Carrier Bandwidth	1,9	1,9	MHz
Required C/I	10	10	dB
LNA/LNB linier input (acuan saturasi level)	≤ -60	≤ -60	dBm
Downlink EIRP at Feed horn-LNA/LNB earth station	-96,12	-96,12	dBm

Tabel 1 : Parameter stasiun bumi SCPC untuk backbone E1

Dengan pembagian band splitting untuk masing-masing operator BWA fixed tertentu, maka chanel E1 dengan lebar 1,9 Mhz antara 3410-3411,9 MHz ini hanya mungkin akan mengalami co-channel dengan operator BWA 1 dan mungkin akan mengalami first adjacent dengan operator BWA 1 tersebut. Kita asumsikan operator BWA 1 mengimplementasikan 6 sektor untuk tiap node BWA dengan radius makro cell 7 km, reuse faktor 3 dan lebar pita tiap sektor 7 Mhz dengan parameter sesuai dengan tabel 2 berikut :

Parameter BWA :

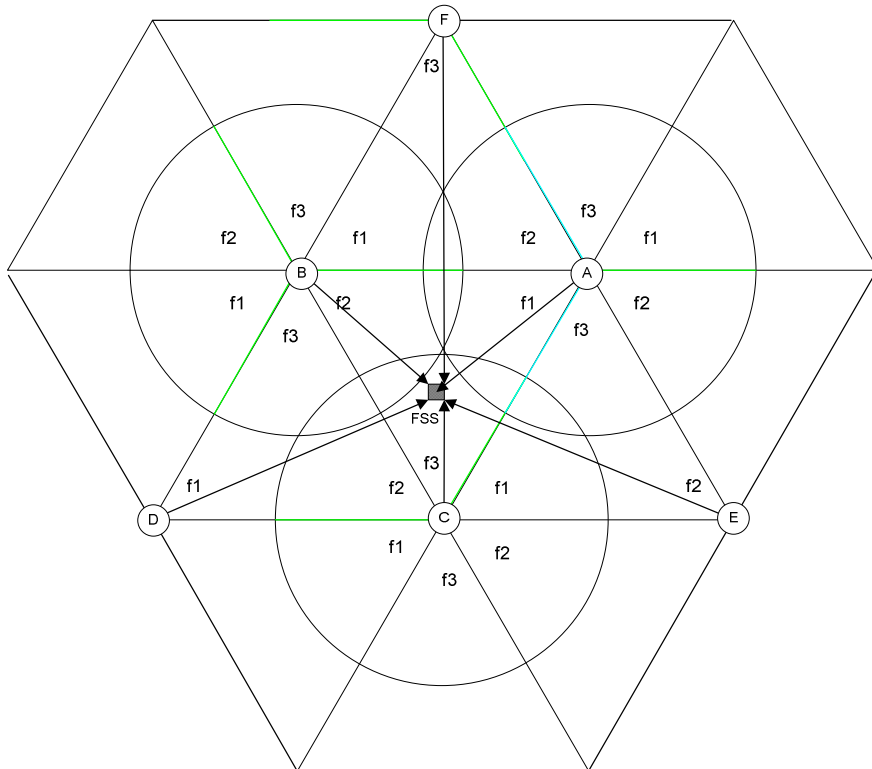
Parameters	Operator 1	Unit
BSU Tower height	30	m, above ground
Typical building height sub-urban	10	m
Per sector	60	deg
Reuse factor	3	
Bandwidth per sector	7	MHz
F1	3410-3417	MHz
F2	3417-3424	MHz

F3	3424-3431	MHz
Radius Cakupan macro cell	7	km
Access method	TDD	
Downlink-Uplink Multiplexing	OFDM/TDMA atau OFDM/OFDMA	
Modulasi	QPSK, 16 QAM, 64 QAM	MHz
BSU antenna gain	18	dBi
BSU EIRP	36	dBm
SU Antena gain	16	dBi
SU antenna height	10,5	m, above ground
SU EIRP	Max 36, control by APC	dBm
First adjacent power thd main carrier power	-40	dB
Second adjacent power thd main carrier power	-60	dB

Tabel 2 : Parameter BWA

4. Design Sharing

Untuk kasus E1 SCPC dengan Stasiun Bumi dan BWA yang terpasang seperti gambar 1 berikut :



gambar 4.1 : Posisi ES FSS terhadap salah satu operator BWA 1

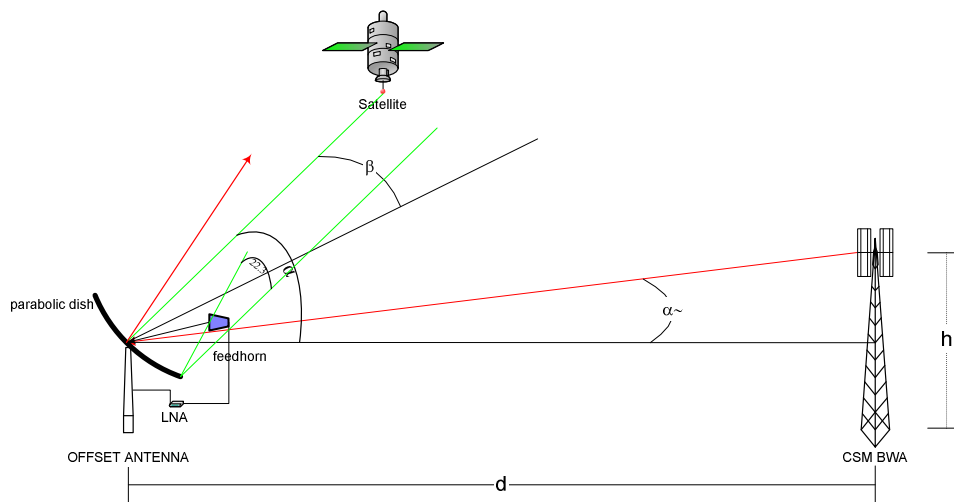
Sistem SCPC hanya memungkinkan suatu kanal di transponder tertentu hanya bisa digunakan 1 kali dalam cakupan coverage satellite tertentu, dengan demikian untuk setiap keadaan dengan 2 satellite domestik ext-C saat ini atau 3 satellite domestik ext-C dimasa yang akan datang, E1 SCPC dengan modulasi QPSK yang menggunakan kanal yang co-channel dengan f1 (7 MHz) hanya memiliki kemungkinan :

- 5 (co-channel transponder dengan f1 di 2 satellite) x 7 MHz / 1,9 MHz = max 11 site ES co-channel dengan f1, atau
- 7 (co-channel transponder dengan f1 di 3 satellite) x 7 MHz / 1,9 MHz = max 18 site ES co-channel dengan f1.

Begitu juga kemungkinan co-channel dengan f2 dan f3 masing-masing maksimum terjadi di max 11 lokasi atau max 18 lokasi, karena tiap lokasi ES bisa memiliki lebih dari 1 E1 backbone. Site E1 SCPC tersebut juga kemungkinan adjacent dengan kanal f2, maupun f3 masing-masing max 11 lokasi atau 18 lokasi.

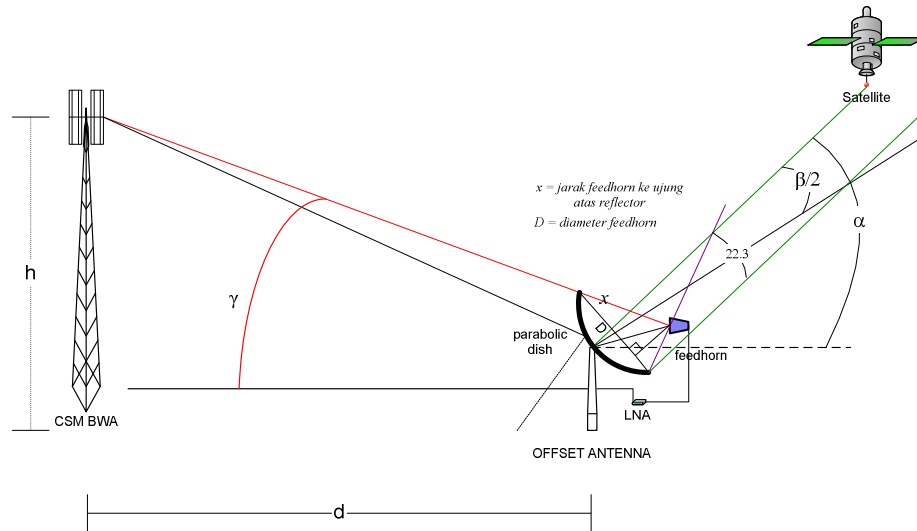
Signal radio 3,5 GHz adalah gelombang elektromagnetik yang juga akan mengikuti hukum fresnel untuk pantulan. Dengan demikian sudut datang dan sudut pantul signal BWA terhadap antenna FSS sebagian besar tidak akan difokuskan kepada feedhorn mengingat sudut elevasi typical antenna ES FSS terhadap BWA tidak sejajar dengan elevasi antenna FSS terhadap satellite.

Typical antenna ES FSS menghadap antenna BWA dapat digambarkan dalam gambar 4.2 berikut :



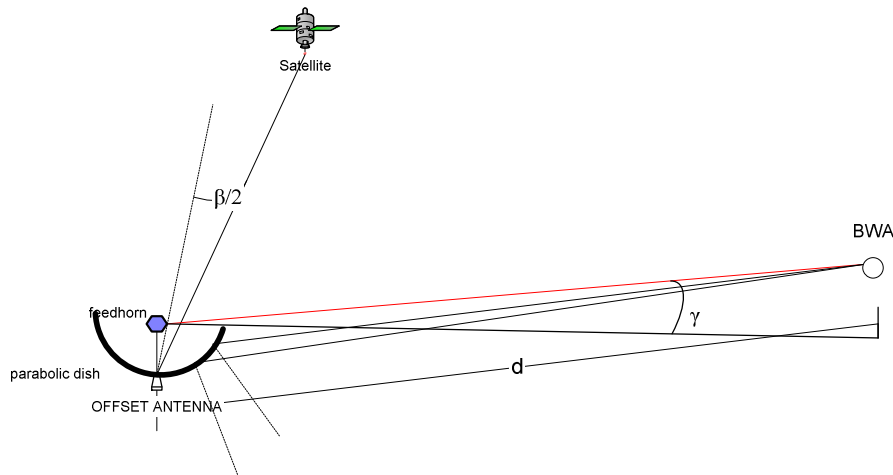
Gambar 4.2 : Signal BWA dari depan antenna ES FSS

Untuk typical antenna ES FSS membelakangi antenna BWA dapat digambarkan dalam gambar 4.3 berikut :



Gambar 4.3 : Signal BWA dari belakang antenna ES FSS

Untuk typical antenna ES FSS menyamping dari antenna BWA dapat digambarkan dalam gambar 4.4 berikut :

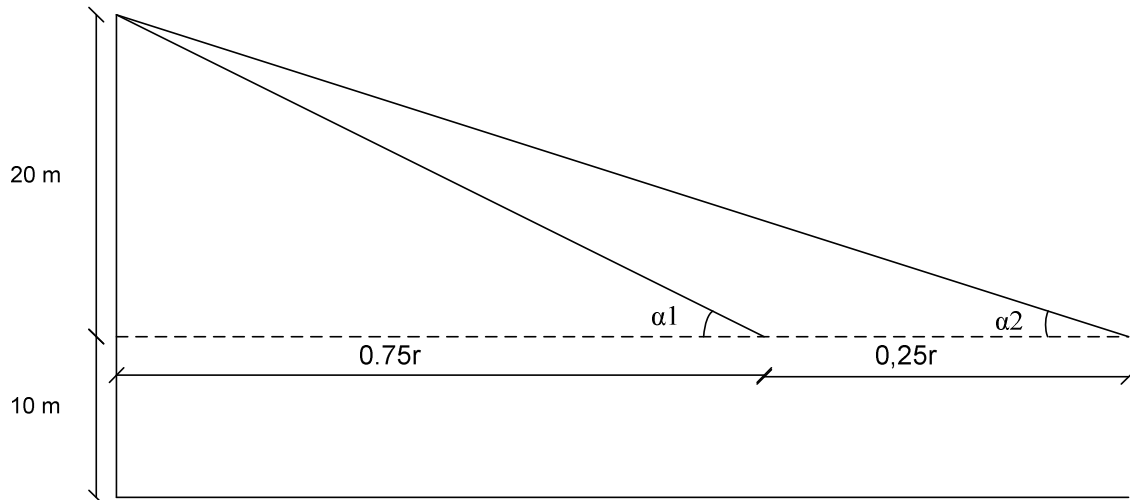


Gambar 4.4 : Signal BWA dari belakang antenna ES FSS

Dengan typical implementasi BWA menggunakan tower 30 m dengan jangkauan makro cell 7 km, typical elevasi antenna FSS terhadap antenna BWA dapat digambarkan dalam gambar 4.5. Typical sudut elevasi antenna ES FSS terhadap BWA adalah :

$$\alpha = \text{atan}(20/d) ; d \text{ dalam meter} \tag{R4.1}$$

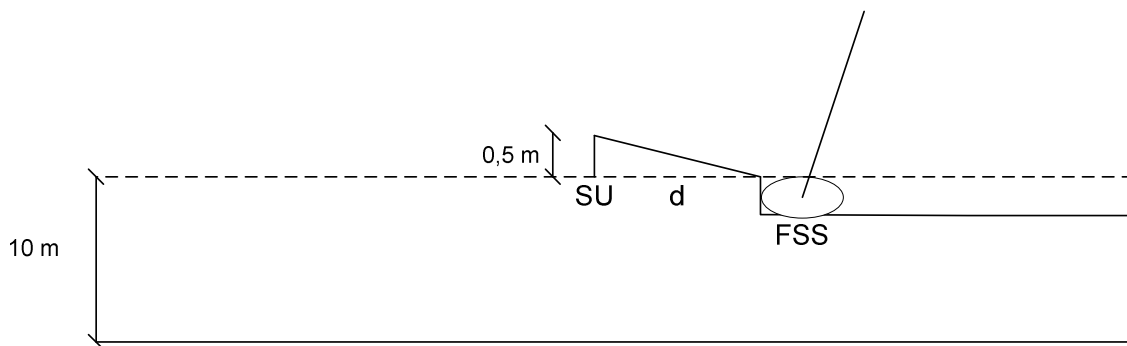
Elevasi di luar daerah coverage BWA adalah $\leq \alpha/2$. Untuk case radius jangkauan BWA 7 km $\alpha/2 = 0,16$ derajat. (R4.2)



gambar 4.5 : Typical Elevasi FSS terhadap BSU typical

Untuk jarak antenna BSU 50 m terhadap ES FSS, maka $\alpha = 21$ derajat. (R4.3)

Sudut elevasi SU BWA typical terhadap antenna ES FSS seperti gambar 4.6 berikut :



gambar4.6 : Typical Elevasi FSS terhadap SU typical

Sudut elevasi antenna ES FSS terhadap SU BWA adalah :

$$\alpha = \text{atan} (0,5/d) ; d \text{ dalam meter} \quad (\text{R4.4})$$

Elevasi typical dalam satu lokasi SU dan ES dengan typical jarak 10 m $\alpha = 2$ derajat. (R.4.5)

Gain antenna ES FSS dapat didekati dengan rumus :

$$G(\varphi) = \begin{cases} 29 - 25 \log(\varphi) & 2^\circ < \varphi < 20^\circ \\ -3.5 & 20^\circ < \varphi < 26.3^\circ \\ 32 - 25 \log(\varphi) & 26.3^\circ < \varphi < 48^\circ \\ -10 & 48^\circ < \varphi \end{cases}$$

Berdasarkan typical sudut elevasi FSS dalam bagian 3 adalah sekitar 80 derajat dan typical sistem disain dalam bagian 4 adalah kurang dari 30 derajat, maka gain antenna FSS terhadap signal BWA adalah adalah -10 dB. (R4.5)

5. Kemungkinan dan Mitigasi Gangguan BWA terhadap FSS

Potensi gangguan BWA terhadap FSS adalah :

- Saturasi LNA/LNB ES FSS oleh co-channel BSU
- Saturasi LNA/LNB ES FSS oleh adjacent channel BSU
- Saturasi LNA/LNB ES FSS oleh adjacent channel SU
- Co-channel interference (CCI) BSU terhadap ES FSS
- Adjacent Channel interference (ACI) BSU terhadap ES FSS
- Adjacent Channel interference (ACI) SU terhadap ES FSS

Dengan sistem design yang diterangkan dalam bagian 4, maka co-channel hanya akan terjadi pada jarak \geq dari radius (r) jangkuan BSU (yang bisa dicapai dengan cara pengaturan power dan downtilt antenna)

5.1.Saturasi LNA/LNB ES FSS oleh co-channel BSU

Sesuai dengan parameter FSS yang dideskripsikan dalam bagian 3, beberapa hal yang perlu diperhatikan untuk menghitung masalah kemungkinan saturasi oleh co-channel BSU adalah :

- Berdasarkan test di workshop CSM tgl 13 Juni 2006 LNA C-band dengan freq kerja 3.66-4.2 GHz akan mengalami saturasi untuk input di C-band pada level input level -50 dBm.
- Daerah kerja linier LNA ext-C \leq -54 dBm, untuk LNB \leq -58 dBm
- Sebagai dasar perhitungan dan mempertimbangkan daerah kerja LNA untuk input saturasi menggunakan tipe wide-band LNA (bukan hanya yang C band seperti yang dipakai oleh CSM), input max adalah **-60 dBm**

Dengan model loss BWA :

$$L_{BWA}(d) = 10 \times \log [(4\pi d/\lambda)^{2.3}]$$

Untuk jarak 7 km, EIRP signal BWA sampai di antenna ES FSS dinormalisi untuk lebar kanal 1,9 MHz adalah, dengan typical elevasi ES FSS terhadap BWA adalah \leq 0,16 derajat (R4.2) dan elevasi typical untuk case ini $>$ 72 derajat maka :

$$\begin{aligned}
\text{EIRP}_{\text{BWA_ES}} &= 36\text{-normalisir} - \text{Loss (7km)} + \text{gain antena FSS (-10)} \\
&= 36 - 5,67 - 138 - 10 \\
&= -117 \text{ dBm}
\end{aligned}$$

Mengingat ES bisa dikoordinasikan agar selalu berada diluar coverage radius co-channel suatu sektor, maka Saturasi LNA/LNB oleh signal co-channel tidak pernah terjadi, karena untuk jarak 7 km saja, EIRP signal BWA feed horn-LNA/LNB jauh lebih kecil dari -60 dBm.

5.2.Saturasi LNA/LNB ES FSS oleh adjacent channel BSU

Sesuai dengan parameter BWA yang dideskripsikan dalam bagian 3, maka adjacent yang perlu diperhitungkan adalah first adjacent yang memiliki beda -40 dB terhadap main co-channel carrier. Untuk menghitung jarak aman sebelum LNA saturasi oleh BWA, kita gunakan parameter saturasi -60 dBm :

$$\begin{aligned}
\text{EIRP}_{\text{BWA_ES}} &= 36\text{-normalisir} - \text{difference} - \text{Loss (7km)} + \text{gain antena FSS (-10)} \\
-60 &= 36 - 5,67 - 40 - \text{BWA}_{\text{loss}} + \text{gain antena FSS} \\
\text{BWA}_{\text{loss}} &= 40,33 \\
d &< 1 \text{ m}
\end{aligned}$$

5.3.Saturasi LNA/LNB ES FSS oleh adjacent channel SU

Sama seperti bagian 5.2, sesuai dengan parameter BWA yang dideskripsikan dalam bagian 3, maka adjacent yang perlu diperhitungkan adalah first adjacent yang memiliki beda -40 dB terhadap main co-channel carrier. Karena SU mengimplementasikan APC, maka SU yang menjadi acuan adalah SU yang terjauh dari BSU atau SU yang karena suatu sebab EIRPnya maksimum (36 dBm). Jarak aman sama dengan bagian 5.3 yaitu kurang dari 1 m.

5.4.Co-channel interference (CCI) BSU terhadap ES FSS

EIRP signal downlink satellite di feed horn_LNA/LNB yang menggunakan frek 3,5 GHz sesuai dengan parameter FSS bagian 3 adalah :

$$\text{EIRP}_{\text{FSS}} = -96,12 \text{ dBm} \tag{R5.1}$$

Agar BER lebih baik dari 10^{-7} tercapai menggunakan QPSK, diperlukan $C/I \geq 10$ dB

Untuk jarak 7 km, EIRP signal BWA sampai di antena ES FSS dinormalisir untuk lebar kanal 1,9 MHz adalah, dengan typical elevasi ES FSS terhadap BWA adalah $\leq 0,16$ derajat (R4.2) dan elevasi typical untuk case ini > 72 derajat maka :

$$\begin{aligned}
\text{EIRP}_{\text{BWA_ES}} &= 36\text{-normalisir} - \text{Loss (7km)} + \text{gain antena FSS} \\
&= 36 - 5,67 - 138 - 10 \\
&= -117 \text{ dBm}
\end{aligned}$$

Ket : Hasil ini membuat perhitungan Interference akibat co-channel oleh node BWA yang lainnya dalam gambar 4.1 dengan jarak sekitar 2x7 km bisa diabaikan.

Dengan demikian typical C/I signal satellite oleh gangguan signal co-channel BWA adalah $= -96,12 - (-117) = 20,88$. Jauh lebih baik dari nilai yang dipersyaratkan.

5.5. Adjacent Channel interference (ACI) BSU terhadap ES FSS

Sesuai dengan design sistem koordinasi ACI bisa terjadi dalam coverage BWA, maka kita perlu mencari jarak aman agar ES FSS tidak mengalami gangguan interferensi oleh cukup oleh first adjacent channel BWA. Jarak ini bisa dicari dengan cara :

$$\begin{aligned}
\text{EIRP}_{\text{BWA_ES}} - \text{C/I} &= 36\text{-normalisir} - \text{difference} - \text{BWALoss (d)} + \text{gain antena FSS} \\
-96,12 - 10 &= 36 - 5,67 - 40 - \text{BWALoss(d)} - 10 \\
\text{BWALoss(d)} &= 86,45 \text{ dB} \\
D &< 50 \text{ m}
\end{aligned}$$

Sesuai dengan (R4.3) gain antena FSS terhadap BWA untuk jarak 50 m adalah valid.

5.6. Adjacent Channel interference (ACI) SU terhadap ES FSS

Sama seperti pada 5.5 jarak aman agar tidak terjadi ACI adalah kurang dari 50 m. Jarak ini paling pendek untuk SU yang dekat dengan BSU karena Tx power SU akan minimum sesuai dengan fungsi kontrol APC.

6. Kesimpulan :

Berdasarkan hasil kajian tersebut :

- Untuk optimalisasi penggunaan frekuensi 3,5 GHz saat ini dan dimasa yang akan datang, BWA 3,5 GHz dimungkinkan untuk sharing secara aman dengan FSS.
- Perlu dilakukan band splitting antar operator BWA untuk menjamin kemudahan koordinasi antara FSS dan BWA.
- Dengan koordinasi, co-channel antara kanal BWA dan kanal FSS hanya terjadi diluar coverage BWA.

Usulan :

- Band splitting antar operator BWA dan pembatasan max EIRP sebesar 36 dBm dan perangkat yang digunakan mendapat standarisasi dari Postel
- Penyesuaian status primer-sekunder untuk BWA terutama untuk daerah yang padat seperti perkotaan.
- Penggunaan aplikasi setara broadcast (DTH dan DVB atau yang lainnya) tidak disarankan berada di lokasi transponder sharing

- Frekuensi Ext-C yang kemungkinan terganggu oleh BWA setelah koordinasi operational penyelesaian gangguan akan disewa oleh penyelenggara BWA dengan harga pasar yang berlaku
- Koordinasi operational lapangan dilakukan dengan cara mendaftarkan seluruh stasiun satellite dan BTS BWA serta mengikuti prosedur koordinasi yang ditetapkan
- Penyelesaian gangguan diselesaikan secara mutual.

Referensi :

- Keputusan Direktur Jenderal Postel No : 119/Dirjen/2000
- Recommendation ITU-R SF 1486
- RSAC Paper 02/2006 : Assessment of Potential Interference between Broadband Wireless Access System in the 3.4 – 3.6 GHz Band and Fixed Satellite Service in the 3.4 – 4.2 GHz Band
- Sharing Studies between WiMAX (FBWA) and Thaicom Satellite System in 3.5 GHz band, author Fengming Cou and Guangjie Li; Intel sharing study
- Radio System Design for Telecommunication; Roger L. Freeman; John Wiley & Son, INC, 1997
- Wireless & Cellular Telecommunications; William C.Y. Lee; Mc Graw Hill, 2006
- Manual product reference Modem Satellite Comtech CDM-600
- Manual product reference BWA