

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Pada bab ini akan dibahas mengenai analisis hasil perhitungan pengaruh *frequency selectivity* terhadap kinerja *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) pada kanal *downlink*. Analisis yang akan dilakukan meliputi parameter kapasitas kanal dan *Signal to Noise Ratio* (SNR). Teknik modulasi yang digunakan adalah 64-QAM dengan kanal *noise* AWGN dan *Rayleigh Fading*.

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis matematis, yaitu dilakukan dengan mengumpulkan nilai-nilai parameter yang berupa data sekunder serta melakukan perhitungan menggunakan persamaan-persamaan yang telah dijelaskan dalam Bab II. Perhitungan dilakukan dengan program Matlab 7.0. Hasil perhitungan pada sistem dengan *Frequency Selective Interference* (FSI) pada kanal *Rayleigh Fading* dan pada kanal AWGN terhadap perubahan nilai kapasitas kanal dan SNR merupakan hasil yang ingin dicapai dalam penulisan skripsi ini.

4.2 Analisis Pengaruh *Frequency Selectivity* Pada *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM)

Dalam sub-bab ini akan dibahas mengenai pengaruh *Frequency Selectivity* penggunaan pada kanal *downlink* dengan kanal *noise* AWGN dan *Rayleigh Fading*. Skema transmisi kanal *downlink* menggunakan teknik multipleksing OFDM. Dengan metode OFDM ini masalah tingginya konsumsi daya pada *receiver* yang dialami oleh OFDM dapat diatasi. Sistem OFDM dapat menjaga setiap *subcarrier* satu dengan lainnya agar tetap *orthogonal* dan mencegah terjadinya *inter-symbol interference* (ISI), dengan menggunakan *cyclic prefix* (CP). Parameter yang digunakan untuk menganalisis pengaruh *Frequency Selectivity* adalah menggunakan standar 3GPP Release 8. Teknik modulasi yang digunakan adalah 64-QAM. Sedangkan total laju data yang digunakan disesuaikan

dengan jenis modulasi dan *bandwidth*. Parameter *kinerja* yang akan dianalisis terdiri dari kinerja kapasitas kanal dan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR).

4.2.1 Analisis Pengaruh *Frequency Selectivity* Terhadap Kapasitas Kanal pada OFDM

Kapasitas kanal sistem merupakan sejumlah data yang dapat ditransmisikan dalam satu detik dengan pengaruh frekuensi yang dinyatakan dalam satuan bits per second per Hertz karena terdapat nilai T_s (b/s/Hz).

- **Laju Data**

Teknik modulasi yang digunakan yaitu 64-QAM. Untuk modulasi 64-QAM mentransmisikan 6 *bit/symbol* dengan 64 kemungkinan sinyal.

Sesuai dengan yang dijelaskan pada Bab II, pada sisi *downlink* menggunakan *air interface* OFDM. Pada sistem komunikasi yang menggunakan teknik OFDM, laju data yang tinggi akan dibagi ke dalam beberapa *subcarrier* untuk kemudian dialirkan secara paralel dengan nilai laju data yang lebih rendah.

Pada perhitungan laju data, kanal *bandwidth* dibutuhkan untuk mengetahui jumlah *subcarrier*. Pada skripsi ini, diasumsikan menggunakan 14 simbol/1 ms *subframe* dengan faktor *cyclic prefix* ($_{CP}$) = 0,0651, sehingga laju data dapat dihitung melalui Persamaan:

$$\begin{aligned} \text{Laju Data (R, Kbps)} \\ = \frac{\text{bit per simbol}}{\text{Hz}} \times N \times \frac{\text{jumlah simbol / subframe}}{1 \text{ ms}} \times (1 - \text{_{CP}}) \end{aligned}$$

Dengan menggunakan teknik modulasi 64-QAM membawa 6 *bit/symbol*, pada kanal 10 MHz diperoleh jumlah *subcarrier* 600, maka didapatkan nilai laju data :

- $$\begin{aligned} \text{Laju data(64 - QAM)} &= \frac{6}{\text{Hz}} \times 600 \times \frac{14}{1 \text{ ms}} \times (1 - 0,0651) \\ &= 47,1 \text{ Mbps} \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan hasil perhitungan laju data seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Hasil Perhitungan Laju Data

Modulation	Laju data (Mbps)
64-QAM	47,1

(Sumber: Perhitungan, 2012)

Berdasarkan hasil perhitungan laju data pada Tabel 4.1 dapat diketahui bahwa besarnya laju data dipengaruhi oleh modulasi yang digunakan. Nilai laju data tertinggi diperoleh saat penggunaan teknik modulasi 64-QAM yang memiliki jumlah *bit* per simbol paling banyak.

Laju data yang tinggi akan dibagi ke dalam beberapa *subcarrier* untuk kemudian dialirkan secara paralel dengan nilai laju data yang lebih rendah. Jumlah *subcarrier* yaitu 600 dengan kanal *bandwidth* 10 MHz.

Dan dari persamaan (2-4), durasi *subcarrier* dengan nilai M pada 64-QAM adalah $2^6 = 64$, sebesar :

$$T_{sub} = \frac{N \log_2 M}{R_{tot}}$$

$$T_{sub} = \frac{600 \log_2 64}{0,0471 \times 10^6} = 32,9 \mu s$$

Dibutuhkan *cyclic prefix* untuk mencegah terjadinya *inter-symbol interference* dan *inter-channel interference* pada *subcarrier-subcarrier* yang saling tumpang tindih.

Durasi CP yang digunakan sebesar 6,51% dari durasi *subcarrier*, sehingga :

$$T_{cp} = 0,0651 \times T_{sub}$$

$$T_{cp} = 0,0651 \times (32,9) = 2,14 \mu s$$

Sehingga durasi simbol OFDM menjadi :

$$T_s = T_{sub} - T_{cp}$$

$$T_s = (32,9 - 2,14) \times 10^{-6} = 30,78 \mu s$$

Hasil analisis tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Analisis Sistem

Teknik Modulasi	Laju Subcarrier (Mbps)	Durasi Subcarrier (μ s)	Durasi Cyclic Prefix (μ s)	Durasi Simbol (μ s)
64-QAM	47,1	32,9	2,14	30,78

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

- Analisis Kapasitas Kanal pada OFDM**

Dengan menggunakan persamaan (2-22)

$$C_{OFDM}^{FSI} = \left(1 - \frac{\tau}{T_s}\right) \cdot \frac{1}{N_{sc}} \sum_{i=1}^{N_{sc}} \log_2 \left(1 + \frac{|H_c(i)|^2 \rho_{sc}}{f_x |H_{int}(i)|^2 x \rho_{sc} + 1} \right)$$

Pada *Frequency Selective Interference* dengan memperhatikan $\rho_{sc} = \text{SINR}$ dengan mevariasikan nilai gain yang menguntungkan $|H_c|^2 = 3$ dan gain yang mengganggu $|H_{int}|^2 = 2$.

Untuk nilai Nilai $T_s = 30,78 \mu\text{s}$ dan $\tau = 2,14 \mu\text{s}$ dan dengan variasi f penginterferensi **0,5** maka didapatkan

$$\begin{aligned} C_{OFDM}^{FSI} &= \left(1 - \frac{2,14}{30,78}\right) \cdot \frac{1}{N_{sc}} \sum_{i=1}^{N_{sc}} \log_2 \left(1 + \frac{3(i)^2 (20)}{0,5 \times |2(i)|^2 \times (20) + 1} \right) \\ &= 1,8119 \left(\frac{\text{b}}{\text{s}}\right) / \text{Hz} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan cara yang sama dengan nilai penginterferensi 1, 10, dan 100 maka didapatkan hasil

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan Kapasitas Kanal

f	<i>Frequency Selective Interference</i> (b/s/Hz)
0,5	1,8119
1	1,2101
10	0,18716
100	0,019979

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Dengan menggunakan persamaan (2-23)

$$C_{OFDM}^{AWGN} = \left(1 - \frac{1}{T_s} \right) \log_2 \left[1 + \frac{1}{f x \frac{1}{\rho_{sc}}} \right]$$

Pada AWGN dengan memperhatikan $\rho_{sc} = \text{SINR}$ pada parameter perhitungan *link budget* dengan menganggap nilai gain yang menguntungkan $|H_c|^2 = 1$ dan gain yang mengganggu $|H_{int}|^2 = 1$

Untuk nilai Nilai $T_s = 30,78 \mu s = 2,14 \mu s$ dan dengan variasi **f** penginterferensi **0,5** maka didapatkan

$$C_{OFDM}^{AWGN} = \left(1 - \frac{2,14}{30,78} \right) \log_2 \left[1 + \frac{1}{0,5 x \frac{1}{(20)}} \right] = 1,3907 \left(\frac{b}{s} / \text{Hz} \right)$$

Dengan menggunakan cara yang sama dengan nilai penginterferensi 1, 10, dan 100 maka didapatkan hasil

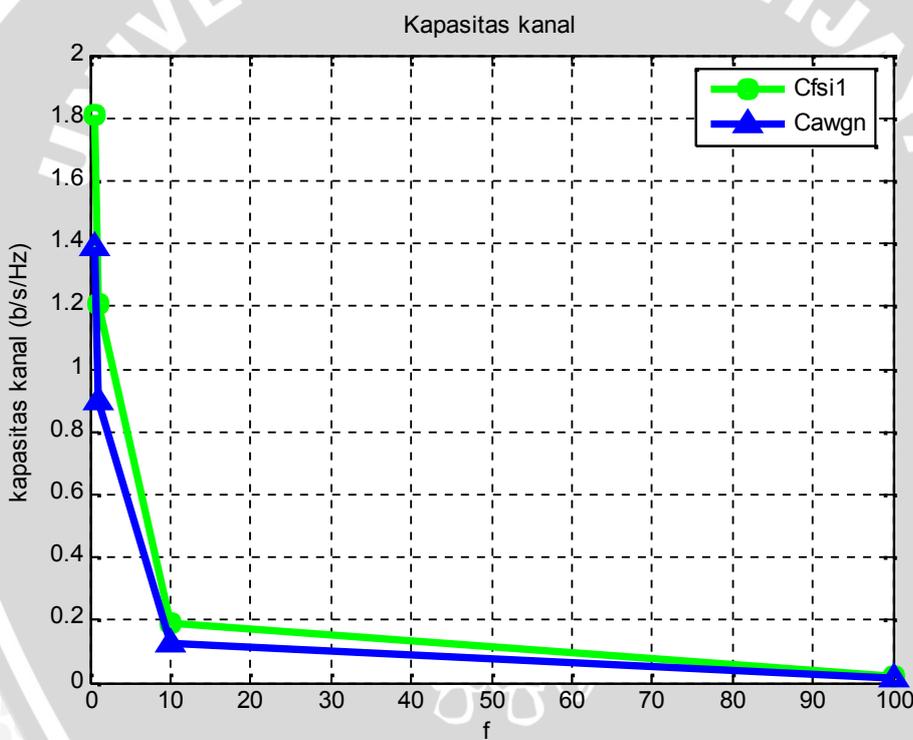


Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Kapasitas Kanal

f	AWGN (b/s/Hz)
0,5	1,3907
1	0,89802
10	0,12732
100	0,013349

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.5.



Gambar 4.1 Grafik Kapasitas Kanal Dengan Variasi Penginterferensi

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

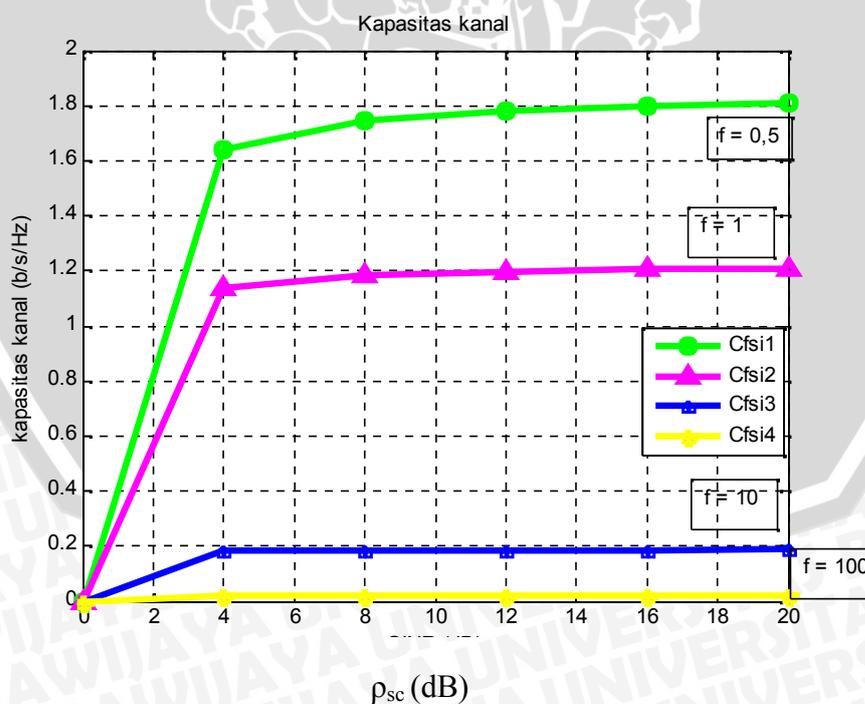
Tabel 4.5 Hasil Analisis Kapasitas Kanal Dengan Variasi Penginterferensi

f	<i>Frequency Selective Interference</i> (b/s/Hz)	AWGN (b/s/Hz)
0,5	1,8119	1,3907
1	1,2101	0,89802
10	0,18716	0,12732
100	0,019979	0,013349

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Pada grafik 4.1 dan tabel 4.5 menunjukkan bahwa semakin besar nilai penginterferensi f maka semakin kecil nilai kapasitas kanal yang dihasilkan pada setiap kanal yang berbeda pada *Frequency Selective Interference* dan AWGN.

➤ **Kapasitas Kanal dengan variasi ρ_{sc} pada kanal *Frequency Selective Interference***



Gambar 4.2 Grafik Kapasitas Kanal Dengan Variasi ρ_{sc} pada *Frequency Selective Interference*

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

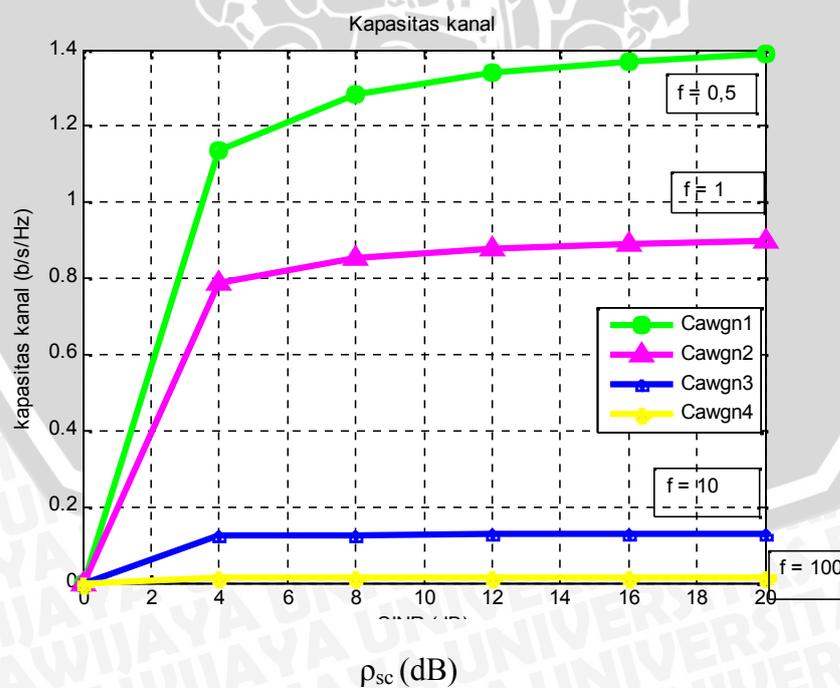
Tabel 4.6 Hasil Analisis Kapasitas Kanal Dengan Variasi ρ_{sc} pada *Frequency Selective Interference*

ρ_{sc}	$f = 0,5$	$f = 1$	$f = 10$	$f = 100$
0	0	0	0	0
4	1,6426	1,1373	0,18543	0,019959
8	1,7439	1,1816	0,18651	0,019972
12	1,781	1,1973	0,18687	0,019976
16	1,8002	1,2052	0,18705	0,019978
20	1,8119	1,2101	0,18716	0,019979

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Pada grafik 4.2 dan tabel 4.6 menunjukkan bahwa semakin besar nilai ρ_{sc} dengan penginterferensi f yang kecil maka nilai kapasitas kanal yang dihasilkan baik. Pada $f = 0,5$ dan $\rho_{sc} = 20$ maka nilai kapasitas kanal yang dihasilkan baik yaitu 1,8119 b/s/Hz

➤ **Kapasitas kanal dengan variasi ρ_{sc} pada kanal AWGN**



Gambar 4.3 Grafik Kapasitas Kanal Dengan Variasi ρ_{sc} pada AWGN

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Tabel 4.7 Hasil Analisis Kapasitas Kanal Dengan Variasi ρ_{sc} pada AWGN

ρ_{sc}	$f = 0,5$	$f = 1$	$f = 10$	$f = 100$
0	0	0	0	0
4	1,2224	0,848	0,1343	0,01432
8	1,3785	0,91754	0,13588	0,014337
12	1,4406	0,94342	0,13642	0,014343
16	1,4739	0,95693	0,13669	0,014346
20	1,4948	0,96523	0,13685	0,014348

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Pada grafik 4.3 dan tabel 4.7 menunjukkan bahwa semakin besar nilai ρ_{sc} dengan penginterferensi f yang kecil maka nilai kapasitas kanal yang dihasilkan baik. Pada $f = 0,5$ dan $\rho_{sc} = 20$ maka nilai kapasitas kanal yang dihasilkan baik yaitu 1,4948 b/s/Hz

Berdasarkan hasil perhitungan kapasitas kanal, dapat diketahui bahwa :

1. Dengan mevariasikan penginterferensi f dari 0,5; 1; 10; 100 maka nilai kapasitas kanal pada kanal *Frequency Selective Interference* dan AWGN akan semakin baik jika penginterferensi semakin kecil yaitu pada $f = 0,5$ didapatkan nilai kapasitas kanal pada kanal *Frequency Selective Interference* adalah 1,8119 b/s/Hz dan pada kanal AWGN adalah 1,4948 b/s/Hz
2. Dengan mevariasikan ρ_{sc} 4 ; 8 ; 12 ; 14 ; 16 ; 20 dengan penginterferensi f dari 0,5; 1; 10; 100 maka nilai kapasitas kanal pada kanal *Frequency Selective Interference* dan AWGN akan semakin baik jika penginterferensi semakin kecil yaitu pada $f = 0,5$ didapatkan nilai kapasitas kanal pada kanal *Frequency Selective Interference* adalah 1,8119 b/s/Hz dan pada kanal AWGN adalah 1,4948 b/s/Hz

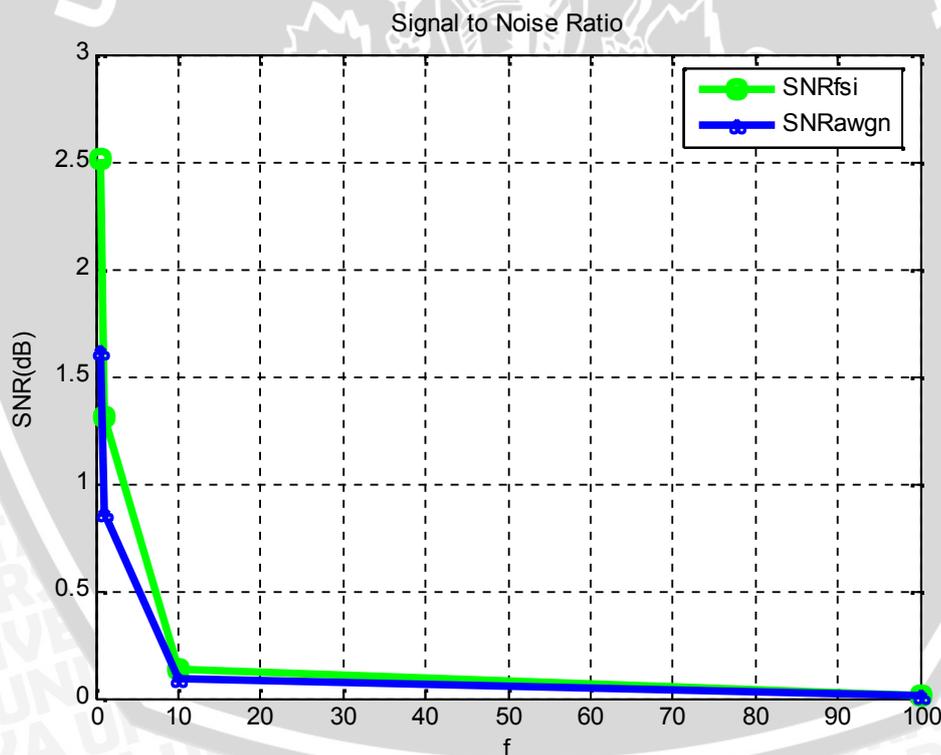
4.2.2 Analisis Pengaruh *Frequency Selectivity* Terhadap *Signal to Noise Ratio* (SNR) pada OFDM

SNR adalah perbandingan antara sinyal yang dikirim terhadap *noise*. SNR digunakan untuk mengetahui besarnya pengaruh redaman sinyal terhadap sinyal yang ditransmisikan. Perhitungan *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) dilakukan pada kanal nirkabel dengan menggunakan model kanal *noise* AWGN dan *Rayleigh Fading*. Untuk menganalisis SNR, diperlukan perhitungan kapasitas kanal. Dengan menggunakan persamaan (2-24)

$$SNR = 2^{C_{OFDM}} - 1$$

Dan melihat hasil perhitungan kapasitas kanal OFDM C_{OFDM} untuk kanal *Frequency Selective Interference* dan AWGN maka didapatkan

➤ *Signal to Noise Ratio* dengan variasi penginterferensi



Gambar 4.4 Grafik SNR Dengan Variasi penginterferensi

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

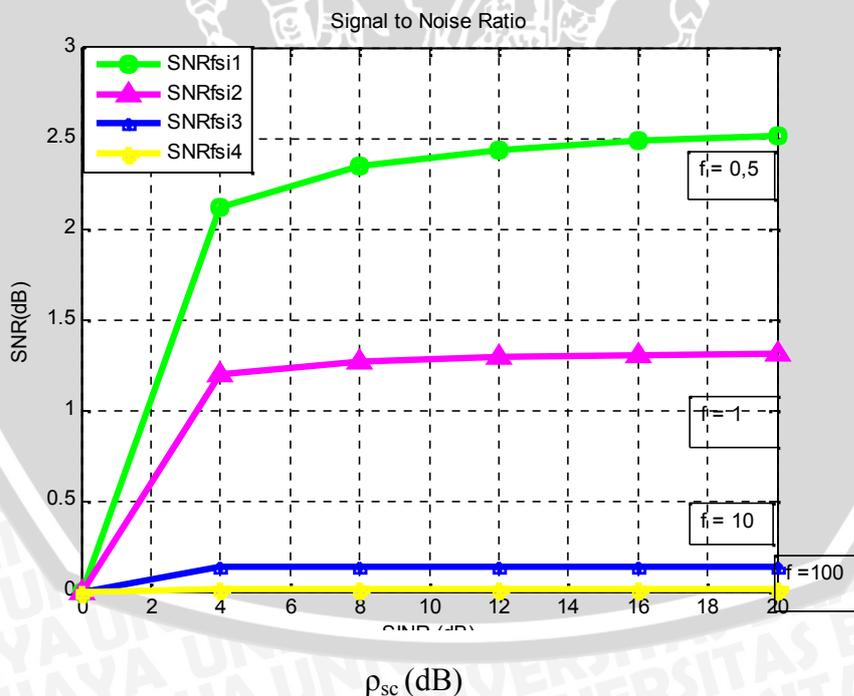
Tabel 4.8 Hasil Analisis SNR Dengan Variasi Penginterferensi

f	<i>Frequency Selective Interference</i> (dB)	AWGN (dB)
0,5	2,5111	1,8182
1	1,3135	0,95238
10	0,13852	0,099502
100	0,013945	0,009995

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Pada grafik 4.4 dan tabel 4.8 menunjukkan bahwa semakin besar nilai penginterferensi f maka semakin kecil nilai SNR yang dihasilkan pada setiap kanal yang berbeda *Frequency Selective Interference* dan AWGN.

➤ **Signal to Noise Ratio dengan variasi ρ_{sc} pada kanal *Frequency Selective Interference***



Gambar 4.5 Grafik SNR Dengan Variasi ρ_{sc} pada *Frequency Selective Interference*

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

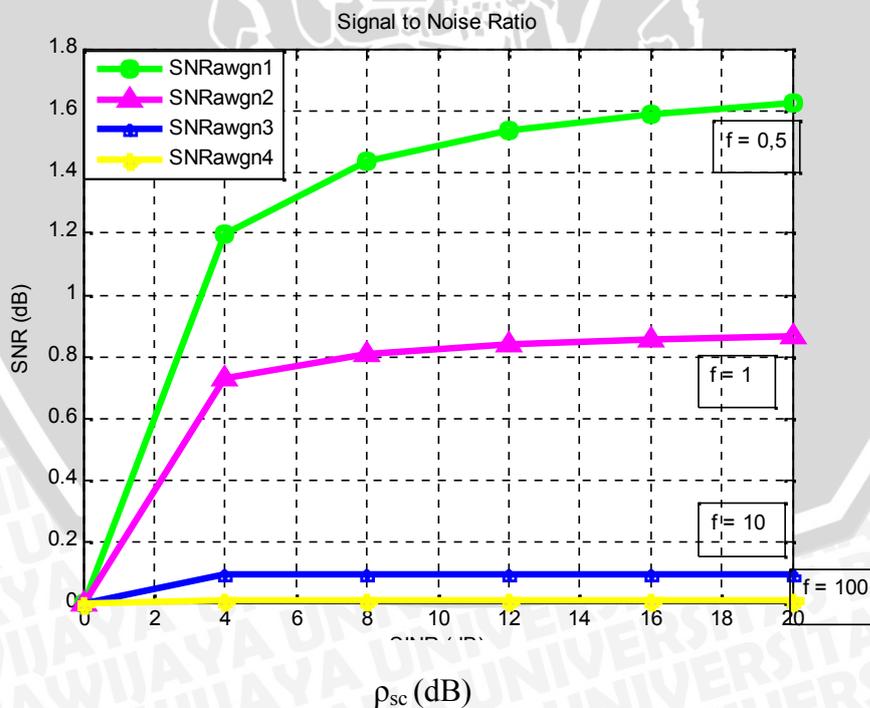
Tabel 4.9 Hasil Analisis SNR Dengan Variasi ρ_{sc} pada *Frequency Selective Interference*

ρ_{sc}	$f = 0,5$	$f = 1$	$f = 10$	$f = 100$
0	0	0	0	0
4	2,1223	1,1996	0,13716	0,013931
8	2,3495	1,2684	0,138	0,01394
12	2,4366	1,2931	0,13829	0,013942
16	2,4826	1,3058	0,13843	0,013944
20	2,5111	1,3135	0,13852	0,013945

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Pada grafik 4.5 dan tabel 4.9 menunjukkan bahwa semakin besar nilai ρ_{sc} dengan penginterferensi f yang kecil maka nilai *Signal to Noise Ratio* yang dihasilkan baik. Pada $f = 0,5$ dan $\rho_{sc} = 20$ maka nilai kapasitas kanal yang dihasilkan baik yaitu 2,5111 dB

➤ **Signal to Noise Ratio dengan variasi ρ_{sc} pada kanal AWGN**



Gambar 4.6 Grafik SNR Dengan Variasi ρ_{sc} pada AWGN

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Tabel 4.10 Hasil Analisis SNR Dengan Variasi ρ_{sc} pada AWGN

ρ_{sc}	$f = 0,5$	$f = 1$	$f = 10$	$f = 100$
0	0	0	0	0
4	1,3333	0,8	0.097561	0.0099751
8	1,6	0,88889	0.098765	0.0099875
12	1,7143	0,92308	0.099174	0.0099917
16	1,7778	0,94118	0.099379	0.0099938
20	1,8182	0,95238	0.099502	0.009995

(Sumber: Hasil Perhitungan, 2012)

Pada grafik 4.6 dan tabel 4.10 menunjukkan bahwa semakin besar nilai ρ_{sc} dengan penginterferensi f yang kecil maka nilai *Signal to Noise Ratio* yang dihasilkan baik. Pada $f = 0,5$ dan $\rho_{sc} = 20$ maka nilai kapasitas kanal yang dihasilkan baik yaitu 1,8182 dB

Berdasarkan hasil perhitungan *Signal to Noise Ratio*, dapat diketahui bahwa :

1. Dengan mevariasikan penginterferensi f dari 0,5; 1; 10; 100 maka nilai *Signal to Noise Ratio* pada kanal *Frequency Selective Interference* dan AWGN akan semakin baik jika penginterferensi semakin kecil yaitu pada $f = 0,5$ didapatkan nilai SNR pada kanal *Frequency Selective Interference* adalah 2,5111 dB dan pada kanal AWGN adalah 1,8182 dB
2. Dengan mevariasikan ρ_{sc} 4 ; 8 ; 12 ; 14 ; 16 ; 20 dengan penginterferensi f dari 0,5; 1; 10; 100 maka nilai *Signal to Noise Ratio* pada kanal *Frequency Selective Interference* dan AWGN akan semakin baik jika penginterferensi semakin kecil yaitu pada $f = 0,5$ didapatkan nilai SNR pada kanal *Frequency Selective Interference* adalah 2,5111 dB dan pada kanal AWGN adalah 1,8182 dB