
PENGARUH *FREQUENCY SELECTIVITY* PADA *SINGLE CARRIER FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS (SC-FDMA)*

Endah Budi Purnomowati, Rudy Yuwono, Muthia Rahma

Abstrak: *Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)* merupakan bentuk modifikasi dari pendahulunya yaitu *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)*. Selektivitas frekuensi adalah kemampuan penerima untuk membedakan sumber-sumber sinyal yang dirancang untuk beroperasi pada frekuensi yang berbeda dan dalam rentang panjang gelombang tertentu. Analisis yang dilakukan adalah seberapa besar pengaruh selektivitas frekuensi terhadap penginterferensi pada *Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)*. Semakin besar interferensi, maka performansi sistem akan semakin lemah.

Kata kunci: selektivitas frekuensi, interferensi, SC-FDMA

Pada sistem komunikasi nirkabel, perambatan sinyal antara pemancar dan penerima melewati berbagai lintasan yang berbeda. Dengan adanya lintasan yang berbeda-beda serta terkadang juga kondisi lingkungan yang selalu berubah mengakibatkan sinyal pada sisi penerima mengalami penghamburan, pelemahan, kerusakan, waktu tunda, dan pergeseran fasa yang berbeda pula sehingga timbul gejala interferensi (Fahima Ulfi Tazkia, 2013). Maka dibutuhkan suatu teknik yang dapat mengurangi efek tersebut dan meningkatkan kualitas sistem. Salah satu teknik tersebut adalah *Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)* yang bekerja pada kanal *uplink* teknologi *Long Term Evolution (LTE)*.

Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) merupakan bentuk modifikasi dari pendahulunya yaitu *Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA)*. Prinsip dasarnya adalah membagi *bandwidth* yang ada pada beberapa *subcarrier* yang kemudian dimodulasikan dan ditransmisikan menjadi aliran data paralel dengan kecepatan data yang rendah (Zohaib Shaikh, 2011). Selektivitas frekuensi adalah kemampuan penerima untuk membedakan sumber-sumber sinyal yang dirancang untuk beroperasi pada frekuensi yang berbeda dan dalam rentang panjang gelombang tertentu (Hanum Fatonah, 2012).

Pembahasan kali ini adalah mengenai pengaruh *frequency selectivity* pada kanal *uplink* dengan kanal *noise AWGN* dan *Rayleigh Fading* menggunakan teknik SC-FDMA pada skema transmisi kanal *uplink* LTE. Pada teknik SC-FDMA, informasi dimodulasi menyesuaikan fase atau amplitudo pembawa dan mencegah *inter-symbol interference (ISI)* dengan menggunakan *cyclic prefix (CP)*. Teknik modulasi yang digunakan adalah 64-QAM dengan total laju data menyesuaikan jenis modulasi dan besar *bandwidth*. Parameter yang akan dihitung berupa data sekunder yang akan dioperasikan dengan persamaan tertentu. Perhitungan dilakukan dengan Matlab 7.0. Sehingga dicapai hasil perhitungan pada sistem dengan *Frequency Selective Interference (FSI)* pada kanal *Rayleigh Fading* dan kanal AWGN terhadap perubahan nilai kapasitas kanal dan *Signal to Noise Ratio (SNR)*.

SC-FDMA

Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA) adalah suatu teknik *multiple access* yang menggunakan beberapa *multicarrier* yang saling tegak

lurus. SC-FDMA pada dasarnya merupakan bentuk modifikasi dari *Orthogonal-FDMA* (OFDMA). SC-FDMA memiliki efisiensi daya yang digunakan pada kanal *uplink* LTE.

SC-FDMA pada dasarnya mempunyai performansi *throughput* dan kompleksitas yang hampir sama dengan OFDMA. Sama seperti OFDMA, sistem SC-FDMA membagi *bandwidth* transmisi menjadi beberapa *subcarrier* yang saling tegak lurus. *Cyclic prefix* (CP) atau *guard interval* juga ditambahkan secara periodik pada saat pentransmisi sinyal untuk menghindari terjadinya *inter-symbol interference* (ISI) dan penyederhanaan desain *receiver* (Harri Holma, 2009).

Berbeda dengan OFDMA dimana data simbol secara langsung dimodulasikan pada setiap *subcarrier* bebas dan ditransmisikan secara paralel, sistem SC-FDMA mentransmisikan data simbol pada masing-masing grup *subcarrier* secara berurutan sebagai “*single carrier*”. Jadi pada setiap periode simbol *subcarrier* membawa masing-masing komponen modulasi simbol. Pengaturan ini dapat mengurangi *envelope fluctuation* pada gelombang sinyal yang ditransmisikan. Maka teknik SC-FDMA memiliki kelebihan yaitu PAPR yang lebih rendah dibandingkan OFDMA (Hyung G. Myung, 2009).

Kanal AWGN dan Kanal Rayleigh Fading pada Sistem SC-FDMA

Kanal AWGN adalah kanal ideal yang hanya memiliki *noise* AWGN (*Additive White Gaussian Noise*). *Noise* AWGN merupakan *noise* yang pasti terjadi pada sistem jaringan *wireless* dan memiliki sifat *additive*, *white*, dan *gaussian*. Sifat *additive* yang artinya *noise* dijumlahkan dengan sinyal, sifat *white* yang artinya *noise* tidak bergantung pada frekuensi operasi sistem dan memiliki rapat daya yang konstan, dan sifat *Gaussian* artinya besarnya tegangan *noise* memiliki rapat peluang terdistribusi *Gaussian* (John G. Proakis, 2000).

Pengertian dari kanal *fading* yaitu kanal tidak ideal yang terdapat pada sistem komunikasi *wireless*, yang memiliki keterbatasan *bandwidth* dan menyebabkan distorsi pada sinyal yang dikirim. Kanal ini dibuat untuk memperkirakan akibat yang ditimbulkan oleh *multipath fading*. Distribusi yang sering digunakan untuk menjelaskan bentuk selubung sinyal pada kanal *multipath* yaitu distribusi *Rayleigh* (Fahima Ulfi Tazkia, 2013).

Selektifitas Frekuensi

Selektifitas frekuensi kemampuan penerima untuk membedakan antara sinyal yang diinginkan dan osilasi elektromagnetik yang tersebar dari berbagai macam faktor yang mengganggu penerimaan sinyal dan menolak sinyal-sinyal yang tidak diinginkan. Sinyal yang diinginkan dipilih berdasarkan beberapa karakteristik yang dimiliki, seperti selektifitas frekuensi, selektifitas amplitud, selektifitas fasa, dan selektifitas perbedaan waktu. Selektifitas frekuensi adalah selektifitas yang banyak ditemui karena sumber-sumber sinyal dirancang untuk beroperasi pada frekuensi yang berbeda dan dalam rentang panjang gelombang tertentu. Sistem OFDM memiliki sensitifitas pada *error* frekuensi yang diakibatkan oleh perbedaan frekuensi yang diterima dengan *oscillator* lokal pada penerima. Perbedaan ini diakibatkan oleh adanya interferensi dimana sinyal pengganggu yang tidak diinginkan dimana frekuensinya berdekatan atau sama dengan akibat efek pergerakan dan pengaruh ICI antar *subcarrier* (Husyeyin Arslan dan Tevfik Yucek, 2010).

Kinerja frequency selectivity pada SC-FDMA

Pada teknik modulasi 64-QAM, ditransmisikan 6 *bit/symbol* dengan 64 kemungkinan sinyal. Laju data dapat ditentukan berdasarkan kategori yang digunakan. Maka diperoleh *durasi subcarrier* dengan persamaan:

$$T = \frac{N \log_2 M}{R_{tot}} \tag{1}$$

Untuk mencegah ISI maka diperlukan CP dengan durasi 6,51% dari durasi *subcarrier* di atas. Sehingga durasi SC-FDMA yaitu *selisih durasi subcarrier* dengan durasi CP.

Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR) merupakan parameter daya yang mengalami interferensi dari sel lainnya dengan interferensi *co-channel*. SINR dapat dijelaskan dengan persamaan berikut (Fahima Ulfi Tazkia, 2013).

$$|SINR_1|_{watt} = \frac{P_{rx1}}{P_{rx2} + P_{N1}} \tag{2}$$

$$|SINR_2|_{watt} = \frac{P_{rx2}}{P_{rx1} + P_{N2}} \tag{3}$$

$$SINR_1_{dB} = 10 \log_{10} [SINR_1] \tag{4}$$

$$SINR_2_{dB} = 10 \log_{10} [SINR_2] \tag{5}$$

Dengan,

P_{rx1} adalah daya sinyal yang diterima oleh MS dari BS1

P_{rx2} adalah daya sinyal yang diterima oleh MS dari BS2

P_{N1} adalah daya *noise* yang diterima oleh MS ketika terhubung ke BS1

P_{N2} adalah daya *noise* yang diterima oleh MS ketika terhubung ke BS2

Kapasitas kanal adalah suatu kapasitas atau ukuran kemampuan kanal untuk dapat menerima apa yang akan dikirim. Batas kapasitas pada sistem SC-FDMA dalam kanal selektivitas frekuensi dapat dituliskan persamaan (6) (Farooq Khan, 2009). Pada FSI dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$C_{SCFDMA}^{FSI} = \left(1 - \frac{\Delta}{T_s}\right) \cdot \frac{1}{N_{SC}} \sum_{i=1}^{N_{SC}} \log_2 \left(1 + \frac{|H_c(i)|^2 \times \rho_{SC}}{f \times |H_{int}(i)|^2 \times \rho_{SC} + 1}\right) \tag{6}$$

Sedangkan persamaan berikut menunjukkan parameter perhitungan *link budget* untuk memperoleh AWGN.

$$C_{SCFDMA}^{FSI} = \left(1 - \frac{\Delta}{T_s}\right) \cdot \frac{1}{N_{SC}} \sum_{i=1}^{N_{SC}} \log_2 \left(1 + \frac{|H_c(i)|^2 \times \rho_{SC}}{f \times |H_{int}(i)|^2 \times \rho_{SC} + 1}\right) \tag{7}$$

Dimana :

ρ_{SC} = SINR

$|H_c|^2$ = Gain menguntungkan

$|H_{int}|^2$ = Gain penginterferensi

T_s = selisih durasi subcarrier dengan durasi CP

Δ = durasi CP

f = penginterferensi

Signal to Noise Ratio (SNR) adalah suatu parameter yang menyatakan kekuatan sinyal diterima dinyatakan dengan perbandingan sinyal yang diterima dengan deru (*noise*) dari penerima. Untuk mendapatkan SNR ditentukan persamaan:

$$SNR = 2^{C_{SCFDMA}} - 1 \tag{8}$$

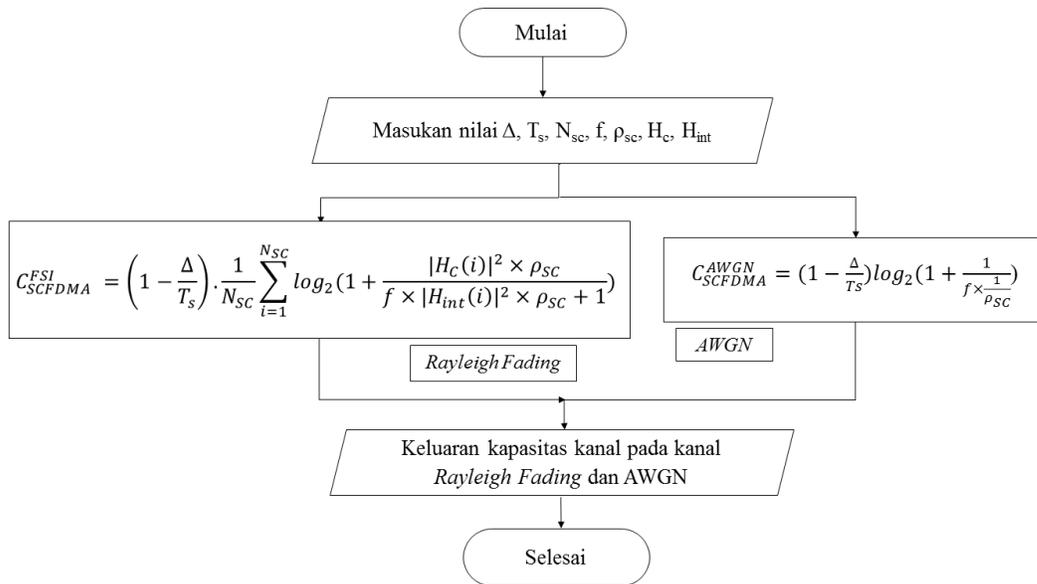
Dengan,

SNR : Signal to Noise Ratio (dB)

C_{SCFDMA} : kapasitas kanal SC-FDMA (b/s/Hz)

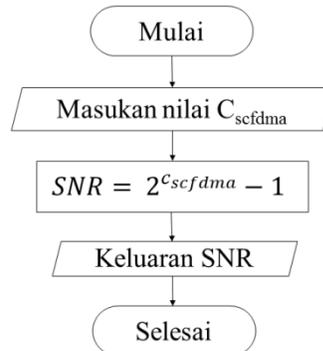
METODE

Kapasitas kanal merupakan jumlah data yang dapat ditransmisikan dalam satu detik dengan pengaruh frekuensi yang dinyatakan dalam satuan bit per second per Hertz, T_s (b/s/Hz). Performansi kapasitas kanal didapat dengan melakukan langkah-langkah sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram Alir Perhitungan Kapasitas Kanal

Sedangkan SNR didapat dengan langkah-langkah sebagai berikut :



Gambar 2. Diagram Alir Perhitungan SNR

PEMBAHASAN

Pada pembahasan ini akan dibahas mengenai analisis perhitungan pengaruh selektivitas frekuensi terhadap kinerja *Single Carrier Frequency Division Multiple Access* (SC-FDMA) pada kanal *uplink*. 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. Perhitungan dilakukan dengan program Matlab 7.0.

Laju Data

Dengan persamaan yang telah ditentukan pada tinjauan pustaka, maka pada teknik modulasi 64-QAM, ditransmisikan 6 *bit/symbol* dengan 64 kemungkinan sinyal. Dalam kasus ini digunakan kategori 5 agar memperoleh jenis modulasi 64 QAM pada *downlink* dan *uplink*.

Pada kanal *uplink* dengan teknik modulasi 64-QAM maka didapat nilai laju data adalah setengah dari kanal *downlink* maka laju data kanal *uplink* sebesar 23,6 *Mbps*.

Dalam perhitungan ini, jumlah *subcarrier* adalah 600 dan kanal *bandwidth* 10 MHz. Maka diperoleh *durasi subcarrier* sebesar 65,72 μ s.

Untuk mencegah ISI maka diperlukan CP dengan durasi 6,51% dari durasi *subcarrier* yaitu sebesar 4,28 μ s. Sehingga durasi SC-FDMA yaitu selisih durasi *subcarrier* dengan durasi CP yaitu sebesar 61,44 μ s.

Analisis Kapasitas Kanal pada SC-FDMA

Perhitungan kapasitas kanal pada FSI diperoleh dengan persamaan yang telah diketahui yaitu dengan ditentukan :

$$\begin{aligned} \text{Gain } |H_c|^2 &= 3 \\ \text{Gain } |H_{int}|^2 &= 2 \\ T_s &= 61,44 \mu\text{s} \\ \Delta &= 4,28 \mu\text{s} \\ f \text{ penginterferensi} &= 0,5 \end{aligned}$$

Maka didapat hasilnya C_{SCFDMA}^{FSI} adalah 1,18119 (b/s.Hz). Dengan variasi nilai penginterferensi adalah 1; 10; dan 100 maka didapat variasi hasil sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Perhitungan Kapasitas Kanal pada FSI

F	FSI (b/s.Hz)
0,5	1,8119
1	1,2101
10	0,19716
100	0,019979

Sedangkan perhitungan *link budget* untuk AWGN dengan :

$$\begin{aligned} \text{Gain } |H_c|^2 &= 1 \\ \text{Gain } |H_{int}|^2 &= 1 \\ T_s &= 61,44 \mu\text{s} \\ \Delta &= 4,28 \mu\text{s} \\ f \text{ penginterferensi} &= 0,5 \end{aligned}$$

Maka didapat hasilnya C_{SCFDMA}^{AWGN} adalah 1,3907 (b/s.Hz). Dengan variasi nilai penginterferensi adalah 1; 10; dan 100 maka didapat variasi hasil sebagai berikut.

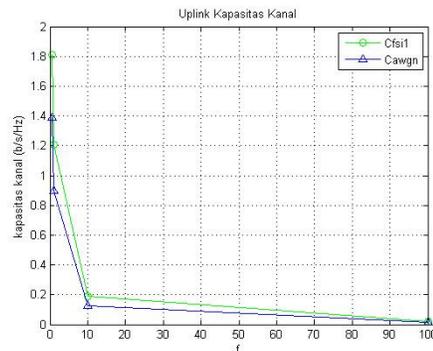
Tabel 2. Hasil Perhitungan Kapasitas Kanal pada AWGN

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

Pada Tabel 3 dan Gambar 3 di bawah, menunjukkan bahwa semakin besar nilai f maka semakin kecil nilai kapasitas kanal yang dihasilkan setiap kanal yang berbeda pada FSI dan AWGN.

Tabel 3. Hasil Analisis Kapasitas Kanal dengan Variasi Penginterferensi

f	FSI (b/s.Hz)	AWGN (b/s.Hz)
0,5	1,8119	1,3907
1	1,2101	0,89802
10	0,19716	0,12732
100	0,019979	0,013349



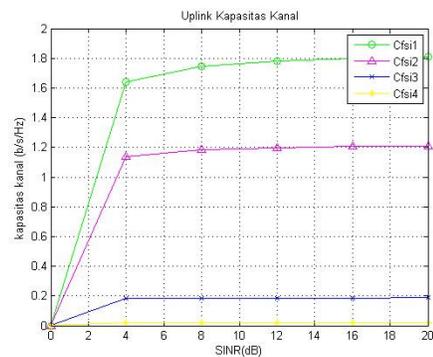
Gambar 3. Grafik Kapasitas Kanal dengan Variasi Penginterferensi.

Kapasitas Kanal dengan Variasi ρ_{SC} pada kanal FSI

Pada Tabel 4 dan Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin besar nilai ρ_{SC} dengan penginterferensi f yang kecil akan menghasilkan kapasitas kanal yang baik

Tabel 4. Hasil Analisis Kapasitas Kanal dengan Variasi ρ_{SC} pada FSI

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

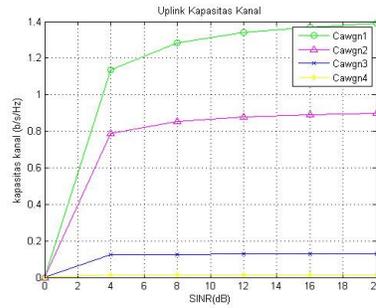
Gambar 4. Grafik Kapasitas Kanal dengan Variasi ρ_{SC} pada FSI

Kapasitas Kanal dengan variasi ρ_{SC} pada kanal AWGN

Pada Tabel 5 dan Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin besar nilai ρ_{SC} dengan penginterferensi f yang kecil akan menghasilkan kapasitas kanal yang baik.

Tabel 5. 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



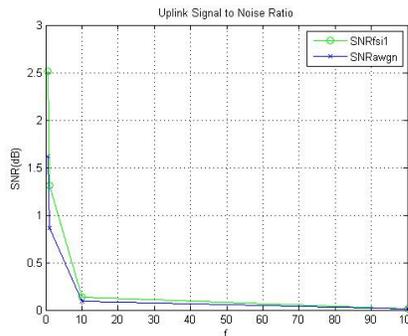
Gambar 5. Grafik Kapasitas Kanal dengan Variasi ρ_{SC} pada AWGN

Berdasarkan hasil perhitungan kapasitas kanal, dapat diketahui bahwa dengan memvariasikan penginterferensi f dan variasi ρ_{SC} maka nilai kapasitas kanal pada FSI dan AWGN semakin baik pada nilai penginterferensi yang kecil yaitu $f=0,5$ dan $\rho_{SC}=20$. Didapat nilai kapasitas kanal pada FSI adalah 1,8119 b/s.Hz dan pada AWGN adalah 1,4948 b/s.Hz.

Perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 6 dan Gambar 6 bahwa semakin besar nilai penginterferensi f maka semakin kecil nilai SNR yang dihasilkan pada setiap kanal FSI dan AWGN.

Tabel 6. Hasil Analisis SNR dengan Variasi Penginterferensi

f	FSI (dB)	AWGN (dB)
0,5	2,5111	1,8182
1	1,3135	0,95238
10	0,13852	0,099502
100	0,013945	0,009995



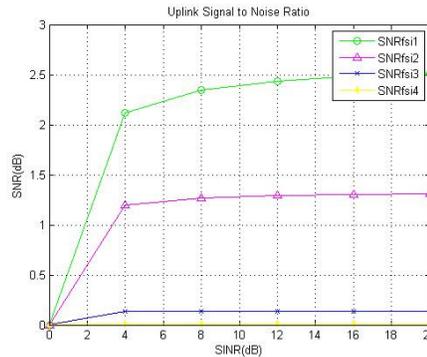
Gambar 6. Grafik SNR dengan Variasi Penginterferensi

SNR dengan Variasi ρ_{SC} pada Kanal FSI

Pada Tabel 7 dan Gambar 5 menunjukkan bahwa semakin besar ρ_{SC} dengan f yang kecil maka SNR baik.

Tabel 7. Hasil Analisis SNR dengan Variasi ρ_{SC} pada FSI

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

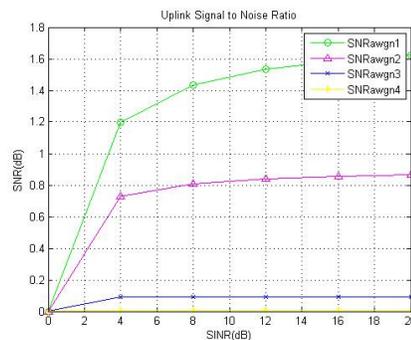


Gambar 7. Grafik SNR dengan Variasi ρ_{SC} pada FSI
SNR dengan Variasi ρ_{SC} pada Kanal AWGN

Pada Tabel 8 dan Gambar 8 menunjukkan bahwa semakin besar ρ_{SC} dengan f yang kecil maka SNR baik.

Tabel 8. 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	0,8889	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



Gambar 8. Grafik SNR dengan Variasi ρ_{SC} pada AWGN

Berdasarkan hasil perhitungan SNR, dapat diketahui bahwa dengan memvariasikan penginterferensi f dan variasi ρ_{SC} maka nilai SNR pada FSI dan AWGN semakin baik pada nilai penginterferensi yang kecil yaitu $f=0,5$ dan $\rho_{SC}=20$. Didapat nilai SNR pada FSI adalah 2,5111 dB dan pada AWGN adalah 1,8182 dB.

KESIMPULAN

Berdasarkan perhitungan kapasitas kanal dan SNR dengan pengaruh *frequency selectivity* pada SC-FDMA dalam kanal FSI dan kanal AWGN, didapat nilai kapasitas kanal dan SNR pada kanal FSI lebih baik dari AWGN karena pada FSI memiliki kemampuan pada penerima untuk membedakan sinyal dari sumber yang beroperasi pada frekuensi berbeda. Dengan memvariasikan nilai f dan ρ_{SC} maka kinerja yang paling baik ada pada $f=0,5$ dan $\rho_{SC}=20$ baik pada kanal FSI maupun kanal AWGN.

DAFTAR PUSTAKA

- Arslan, Husyein dan Tevfik Yucek. 2010. *Estimation of Frequency Selectivity for OFDM Based New Generation Wireless Communication Systems*. Electrical Engineering Department University of South Florida. Florida.
- Fatonah, Hanum dan Heri Irawan. 2012. *Sistem Komunikasi Radio Pengukuran Selektivitas Kanal Tetanggaradio VHF FM Transceiver*. Program Studi Teknik Telekomunikasi Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bandung. Bandung.
- Holma, Harri dan Anti Toskala. 2007. *LTE for UMTS-OFDMA and SCFDMA Based Radio Access*. British Library. UK
- Khan, Farooq. 2009. *LTE for 4G Mobile Broadband*. Cambridge University Press. UK
- Myung, H. G. dan D. J. Goodman. 2009. *Single Carrier FDMA a New Interface for LTE*. John Willey & Sons, Inc. New York.
- Proakis, John. 2000. *Digital Communication*.
- Shaikh, Zohaib , Waseem Mahar, Ahad Jan Pathan. 2011. *Comparison of OFDM, SC-FDMA and MC-CDMA as Access Techniques for Mobile Communication*. Pakistan.
- Tazkia, Fahima Ulfi. 2013. *Pengaruh Frequency Selectivity pada Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)*. Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya. Malang.