

Simulasi Modulasi Discrete Multitone pada Asymmetric Digital Subscriber Line

Purwanto Nugroho – L2F 096 612

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro Semarang, Indonesia

ABSTRAK

Permintaan akan media transmisi berkecepatan tinggi yang murah dan efisien menuntut pemikiran untuk menyediakan suatu teknologi baru dengan memanfaatkan media transmisi yang telah tersedia. Asymmetric Digital Subscriber Line adalah teknologi alternatif untuk komunikasi data berkecepatan tinggi dengan kecepatan diatas 1,5 Mbps melalui kawat tembaga biasa yang lazim digunakan sebagai saluran telepon kabel.

Pada Tugas Akhir ini akan disimulasikan modulasi discrete multitone (DMT), yaitu teknik modulasi dan demodulasi yang digunakan pada transceiver ADSL. Modulasi discrete multitone (DMT) menggunakan modulator quadrature amplitude modulation (QAM) dan menggunakan transformasi fourier dalam hal ini IFFT (invers fast fourier transform) dan FFT dalam perubahan data simbol kompleks dalam domain frekuensi menjadi real time value (dalam domain waktu) ataupun sebaliknya. Dalam simulasi tugas akhir ini juga akan ditambahkan channel impulse response (pengaruh channel) terhadap data yang ditransmisikan. Program bantu yang digunakan dalam simulasi tugas akhir ini adalah bahasa pemrograman matlab.

Kecepatan transmisi yang didapatkan berubah-ubah secara acak sesuai dengan penempatan bit atau bit loading yang secara acak pula. Pada salah satu simulasi didapatkan kesalahan data akibat channel impulse response sebesar 0,4098%. Sementara itu penambahan cyclic prefix yang panjangnya lebih besar dari channel impulse response dapat mencegah terjadinya interferensi intersymbol yang disebabkan channel impulse response tersebut.

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Internet sebagian besar memanfaatkan infrastruktur jaringan fisik yang sudah ada yaitu jaringan telepon. Namun teknologi pendukungnya belum optimal dalam memanfaatkan bandwidth kabel telepon yang melintang dari pelanggan ke sentral telepon (*local loop*). Akibatnya kecepatan transfer data yang didapatpun tidak maksimal.

Teknologi ADSL memanfaatkan bandwidth tersisa dari kabel telepon. Kabel telepon tersebut memiliki bandwidth 1 MHz, dan voice telepon hanya menggunakan 4 KHz saja. Modem konvensional bekerja di 4 KHz ini, sedangkan modem ADSL mampu memanfaatkan bandwidth yang lebar di atas 4 KHz sehingga tidak mengganggu sistem telepon. Dengan demikian kecepatan akses data menjadi lebih meningkat, karena peningkatan bandwidth yang digunakan akan meningkatkan kecepatan akses data.

1.2. Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dalam tugas akhir ini adalah melakukan simulasi modulasi Discrete Multitone yang diterapkan pada aplikasi Asymmetric Digital Subscriber Line.

1.3. Batasan masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah

1. Hanya disimulasikan pada sistem modulasi dan demodulasi, proses yang lain pada ADSL tidak disimulasikan.
2. Simulasi yang dilakukan pada upstream ADSL.
3. Simulasi yang dilakukan adalah modulasi baseband DMT.

4. Alokasi bit setiap subchannel bersifat acak dan SNR channel dianggap tidak diketahui.

II. ADSL

ADSL adalah salah satu bagian dari xDSL. ADSL memungkinkan transmisi data kecepatan tinggi dengan bandwidth asimetris menuju rumah dan kantor bisnis melalui jaringan kabel *local loop* dari telepon yang telah ada. ADSL mentransmisikan sekitar 6 Mbps kepada *subscriber (downlink)* dan kurang lebih 640 kbps untuk transmisi arah yang berlawanan (*uplink*). Penambahan kecepatan ini berkisar sekitar 50 kali tanpa penginstalan jaringan kabel baru.

2.1. Metode Implementasi Modem ADSL

Secara umum alokasi frekuensi kerja ADSL dibagi menjadi bagian *upstream* dan *downstream*. Pembagian alokasi kerja modem ADSL dapat diimplementasikan dalam 2 cara, yaitu *echo cancellation (EC)* dan *frequency division multiplexing (FDM)*^[3]. Pada metode EC, pita frekuensi upstream dan downstream saling overlap dan dipisahkan dengan suatu echocanceller lokal. Pada metode FDM, kedua arah transmisi, yaitu upstream dan downstream masing-masing dialokasikan pada pita frekuensi yang berbeda.

2.2. Modulasi Kanal ADSL

Kecepatan transfer sistem ADSL yang sangat tinggi dimungkinkan oleh digunakannya teknik modulasi digital yang digabung dengan teknik pemrosesan sinyal digital untuk memanfaatkan sisa *bandwidth* di atas spektrum POTS. Secara garis

besar terdapat 2 macam teknik modulasi ADSL^[11], yaitu :

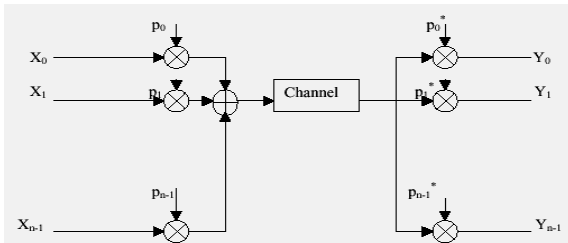
- Teknik modulasi berpembawa tunggal atau *single carrier modulation* (SCM).
- Teknik modulasi berpembawa jamak atau *multicarrier modulation* (MCM).

Teknik *single carrier modulation* hanya menggunakan 1 buah frekuensi pembawa sebagai sinyal yang akan dimodulasi oleh sinyal informasi. Implementasi SCM pada ADSL, yaitu *Carrierless Amplitude Phase* (CAP)^[10].

Teknik modulasi *multicarrier* atau *multicarrier modulation* (MCM) adalah teknik transmisi data yang membagi lebar spektrum *bandwidth* transmisi menjadi beberapa *subchannel* dan masing-masing dimodulasi dengan sinyal pembawa yang merepresentasikan blok data bit yang memiliki *bit rate* lebih rendah secara paralel. Tujuan pembagian lebar pita menjadi beberapa subkanal adalah untuk meningkatkan efisiensi lebar pita dan menjadikan sistem lebih adaptif terhadap kondisi saluran yang dipengaruhi berbagai gangguan. Penerapan MCM pada ADSL dengan menggunakan *Discrete Multitone* (DMT) dengan operator transformasinya yang sudah terkenal, yaitu *fast fourier transform* (FFT). Modulasi DMT membagi lebar pita telephone menjadi sub-subkanal dengan interval 4,3125 kHz^[11] :

- ✓ Kanal *upstream* dengan 32 subkanal menggunakan alokasi lebar pita 11,25-144,9375 kHz dengan metode *echo cancellation*.
- ✓ Kanal *downstream* dengan 256 subkanal menggunakan *bandwidth* 64,6875-1164,4 kHz dengan metode *echo cancellation* juga.

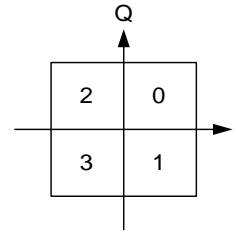
Modulasi DMT secara sederhana dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Diagram Blok Sederhana Teknik Modulasi Multicarrier

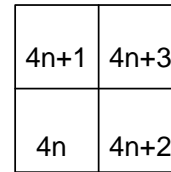
2.3. Simbol QAM

Diagram konstelasi QAM merupakan titik koordinat simbol pada bidang rectangular I/Q dengan sumbu horisontal *inphase* (I) dan sumbu vertikal *quadrature* (Q). Jumlah titik konstelasi pada metode QAM bervariasi tergantung dari jumlah bit yang diwakili oleh setiap simbol. Untuk setiap blok bit diwakili oleh sejumlah $M = 2^b$ *alphabet* simbol. Diagram konstelasi QAM ($b = 2$) dapat dilihat pada gambar 2.2.



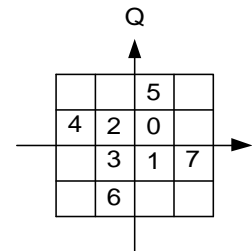
Gambar 2.2 Konstelasi Simbol 4QAM

Angka 0, 1, 2, 3 adalah letak simbol yang merupakan representasi desimal dari nilai blok 2 bit, yaitu masing-masing 00, 01, 10, 11. Sedangkan untuk nilai b lainnya, diagram konstelasi dapat dihasilkan dengan cara mensubstitusikan blok 2x2 pada Gambar 2.2 dengan Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Diagram Dasar Konstelasi QAM

Penentuan letak titik konstelasi dengan nilai b ganjil sedikit berbeda. Sebagai diagram dasar ditentukan terlebih dahulu konstelasi paling sederhana, yaitu untuk $b = 3$ dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 2.4 Diagram Konstelasi 3 Bit

Jika b ganjil dan lebih dari 3, dengan tetap berpedoman pada tabel 2x2 pada Gambar 2.6 dilakukan substitusi pada tabel yang akan diekspansi dengan perlakuan khusus terhadap 2 MSB dari I dan Q. 2 MSB yang tersisa digeser menuju sisi kuadran yang berhadapan, sehingga bentuk diagram konstelasi menjadi simetris.

2.4. Transformasi Fourier Diskrit^[13]

Transformasi fourier diskrit digunakan untuk mengubah sejumlah N data real dalam domain waktu menjadi sejumlah N data kompleks dalam domain frekuensi. Transformasi fourier diskrit dinyatakan dengan:

$$X(k) = F_D[x(nT)] = \sum_{n=0}^{N-1} x(nT)e^{-jk\Omega nT}, k = 0, 1, \dots, N-1$$

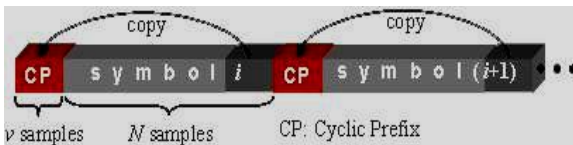
sebaliknya untuk mengubah sejumlah data N kompleks menjadi sejumlah N data real

digunakan invers DFT yang dinyatakan dengan

$$x(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k e^{-j2\pi nk/N}, n = 0, 1, \dots, N-1$$

2.5. Cyclic Prefix^[3]

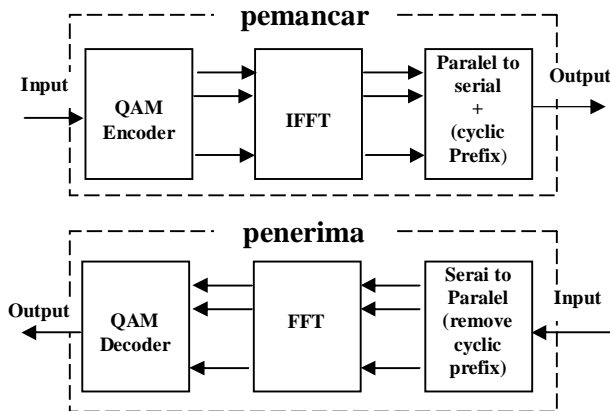
Prinsip dari cyclic prefix adalah penyalinan beberapa bagian akhir dari urutan data simbol paling akhir ke urutan data simbol paling depan. Misal pada transmisi upstream DMT dengan panjang subchannel 32 dan panjang cyclic prefix adalah 5 (menurut standar ANSI) maka prinsip penambahan cyclic prefix adalah sebanyak 5 panjang simbol urutan terakhir di salin ke urutan paling depan. Tujuan dari penambahan cyclic prefix ini adalah sebagai guard band atau band pemisah antar simbol, sehingga dapat menghindari interferensi inter simbol yang disebabkan pengaruh channel (*channel impulse response*). Karena transmisi sinyal ADSL pada frekuensi yang sangat tinggi sehingga kemungkinan terjadinya interferensi inter simbol (ISI) sangat tinggi sehingga dengan cyclic prefix ISI dapat dicegah. Selama panjang channel impulse response masih di bawah panjang cyclix pefix maka sinyal tidak akan mengalami distorsi atau gangguan. Prinsip dari cyclic prefix dapat dilihat lebih jelas seperti ditunjukkan pada gambar 3.9.



gambar 2.5. prinsip penambahan cyclic prefix

III. PERANCANGAN SIMULASI

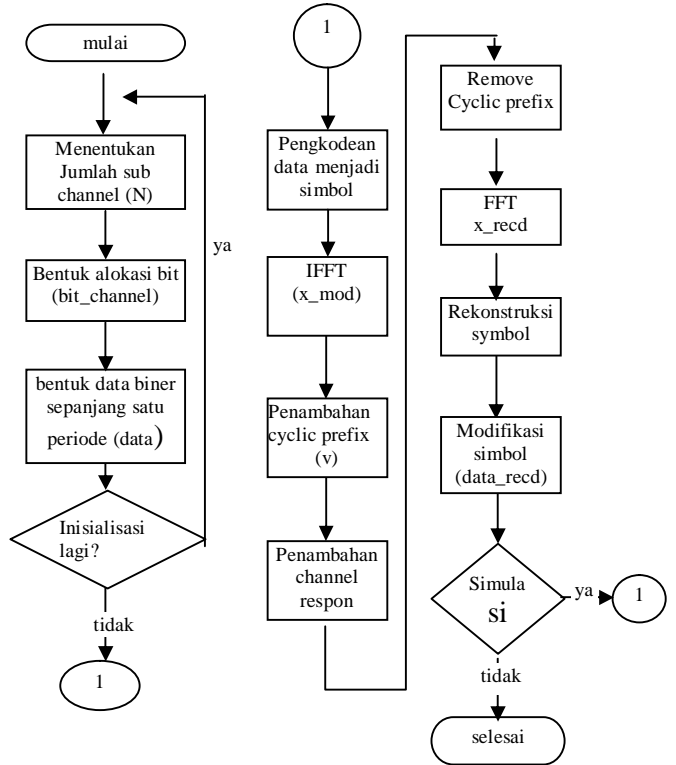
Perancangan simulasi dapat dijabarkan sesuai dengan gambar 3.1.



Gambar 3.1. Blok diagram pemancar dan penerima DMT

Proses demodulasi pada bagian penerima bekerja secara berkebalikan dari proses modulasi dengan menggunakan *fast fourier transform* (FFT). Selanjutnya sebuah QAM decoder berfungsi sebagai

peralatan penentu yang mengubah simbol QAM menjadi blok data digital dengan panjang tertentu sesuai dengan konstelasi QAM yang bersesuaian. Untuk lebih jelasnya proses simulasi dapat dilihat pada diagram alir gambar 3.2.



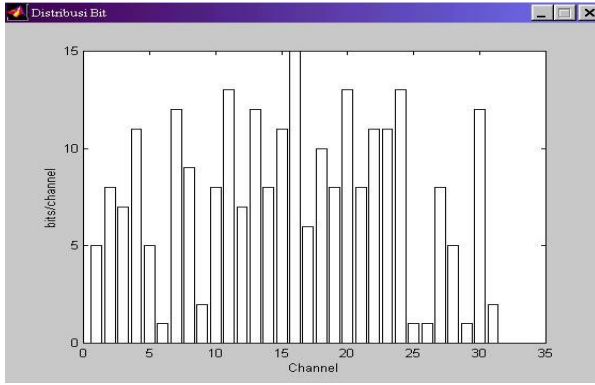
Gambar 3.2. Diagram alir simulasi

IV. HASIL SIMULASI DAN ANALISA

Proses simulasi tugas akhir ini meliputi tiga tahap, yaitu inisialisasi, simulasi dan penampilan hasil simulasi.

4.1. Alokasi Bit

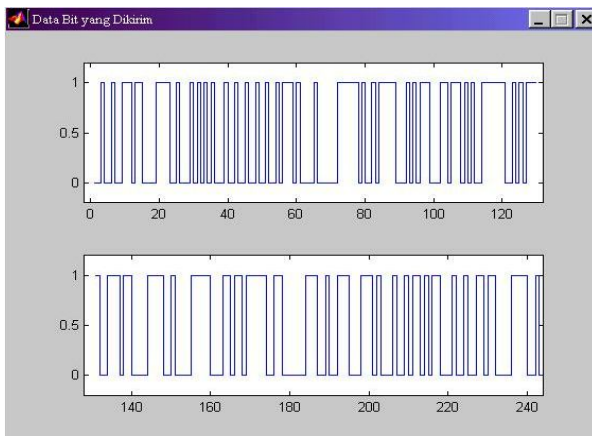
Jumlah bit yang dialokasikan untuk setiap subkanal bervariasi antara 1 dan 15 bit. Pada salah satu hasil simulasi sebagaimana terlihat pada Gambar 4.1, jumlah distribusi bit untuk 31 subkanal adalah 244 bit. Jumlah 244 bit ini dihasilkan secara *random deterministic*, alokasi bit untuk subkanal dengan frekuensi pembawa yang rendah mendapatkan alokasi yang lebih banyak dikarenakan frekuensi pembawa dengan frekuensi yang tinggi lebih rentan terhadap derau. Sehingga setiap penekanan tombol inisialisasi akan menghasilkan jumlah dan alokasi bit yang acak pula.



Gambar 4.1 Alokasi Bit Setiap Subkanal

4.2. Data Bit Dikirim

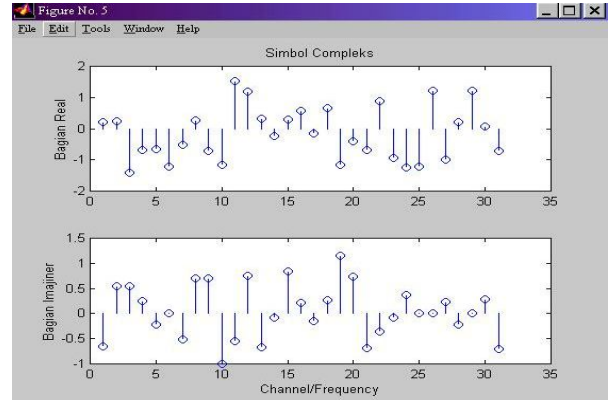
Data yang akan ditransmisikan adalah data biner yang dibangkitkan secara acak. Pada salah satu hasil simulasi, data berupa deretan bit sepanjang 244 yang masing-masing bernilai 0 atau 1. Plot seluruh data yang dibangkitkan dapat dilihat pada Gambar 5.4. Bit-bit ini selanjutnya akan diumpungkan ke-31 subkanal dengan alokasi masing-masing subkanal seperti pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Data 244 Bit Dikirim

4.3 Simbol QAM

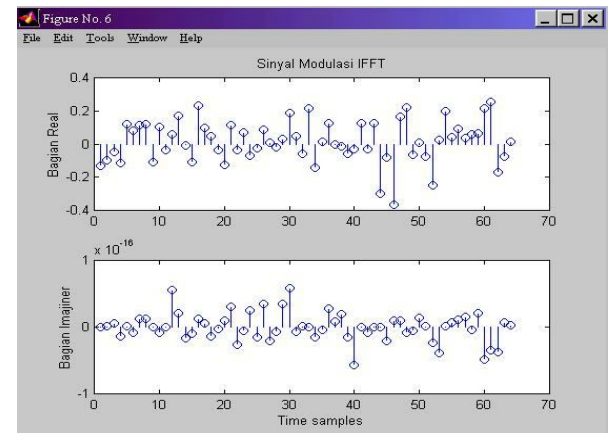
Simbol QAM yang dihasilkan dalam simulasi adalah simbol dengan nilai konstelasi antara 2 sampai 3278. Pada salah satu hasil simulasi yang dilakukan pada subkanal 31 dengan alokasi 2 bit dan data masukan 11, masukan *inphase* bit -1 (amplitudo dibalik), masukan *quadrature* bit -1 (amplitudo dibalik) menghasilkan simbol $-0,7071 - 0,7071i$ yang dapat dituliskan $1 \angle 225^\circ$, ini berarti simbol yang dihasilkan terletak pada kuadran ketiga bidang *inphase-quadrature*. Hasil simulasi keseluruhan simbol diperlihatkan oleh Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Simbol kompleks yang dihasilkan

4.4 Transformasi IFFT

Hasil transformasi IFFT yang diinginkan adalah nilai waktu real (*real time value*), dan dari simulasi yang dilakukan terlihat bahwa nilai bagian imajiner sangat kecil sekali jika dibandingkan dengan nilai bagian real nya atau nilai imajinernya sangat mendekati nol sehingga bisa dianggap bernilai nol seperti diperlihatkan pada gambar 4.4. Nilai real berkisar antara -1 sampai 1 sedangkan nilai imajiner berkisar antara $1 \cdot 10^{-16}$ sampai $-1 \cdot 10^{-16}$.

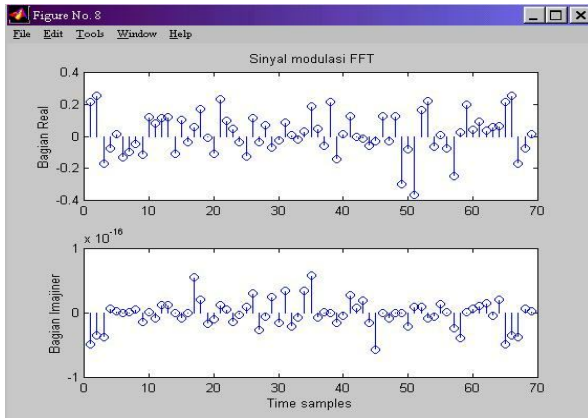


Gambar 4.4 Hasil transformasi IFFT

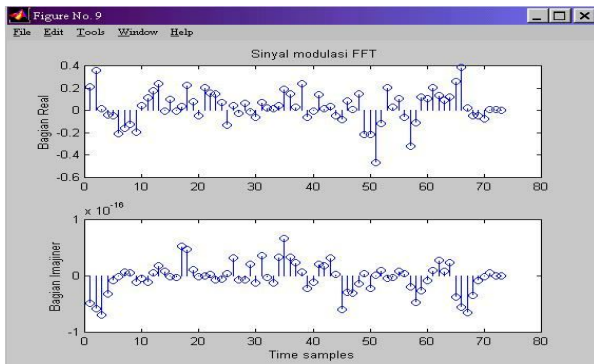
4.5 Transformasi FFT

Pada sisi penerima sinyal sample yang diterima adalah nilai waktu real (*real time value*) hasil dari transformasi IFFT yang sudah melewati saluran transmisi. Untuk channel ideal $h = [1]$ saluran transmisi tidak mempengaruhi sinyal sample yang dikirimkan sedangkan untuk channel tidak ideal maka saluran akan mempengaruhi sinyal sample yang dikirimkan. Disamping itu sinyal sample yang dikirimkan sudah mendapatkan tambahan cyclic prefix yang berfungsi sebagai guard band untuk menghindari interferensi intersimbol. Komponen sinyal yang diterima untuk ketiga channel atau saluran yang berbeda dapat dilihat pada gambar 4.5.a., 4.5.b., dan 4.5.c. Terlihat bahwa untuk

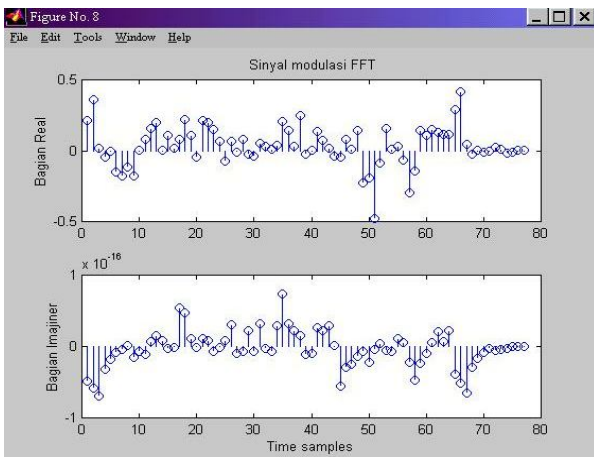
channel ideal pada gambar 4.5.a. sinyal yang diterima adalah sample complex yang besarnya bagian imajiner sangat kecil sehingga bisa dianggap nol (nilai real time). Panjang sinyal sample adalah 69 yaitu 64 hasil transformasi IFFT sebanyak $2N$ (2×32) dan penambahan cyclic prefix sebanyak 5 sample. Sedangkan pada gambar 4.5.b. dan 4.5.c besarnya sample lebih besar dari 69 karena pengaruh dari response channel yang diberikan.



Gambar 4.5.a. Sample yang diterima untuk channel ideal

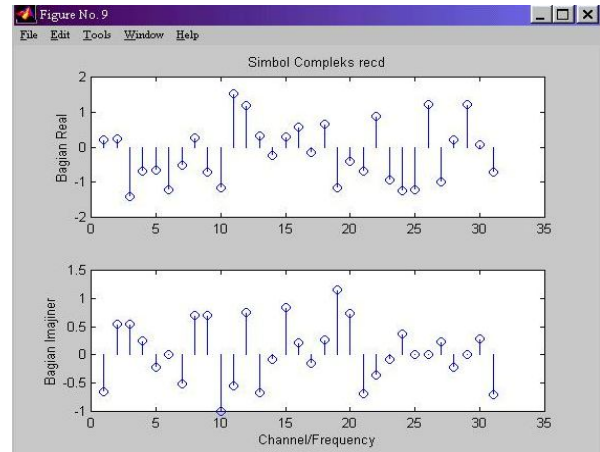


Gambar 4.5.b. Sample yang diterima untuk channel $h = v$

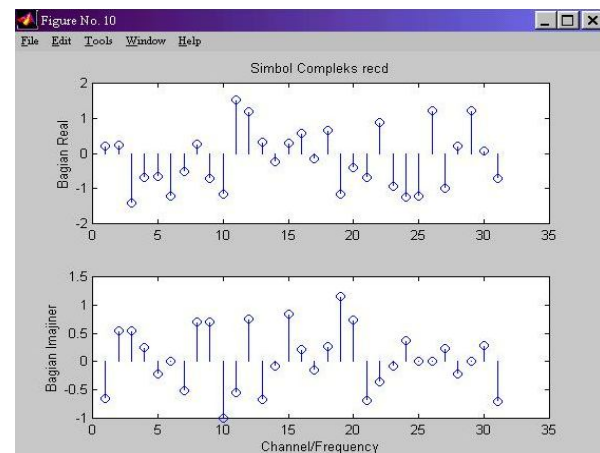


Gambar 4.5.c. Sample yang diterima untuk channel $h > v$

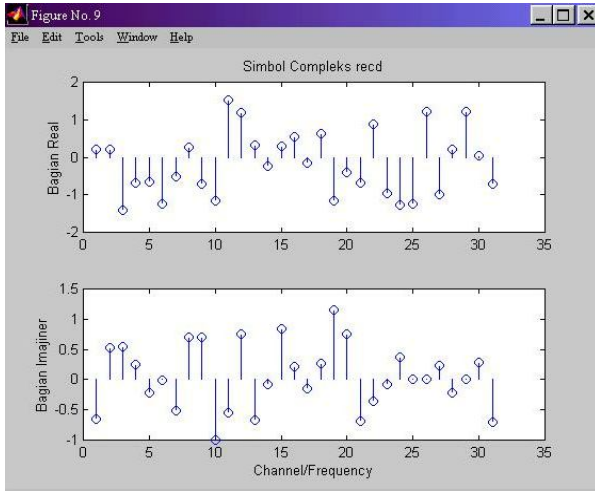
Sample yang diterima tersebut mula-mula direnovasi cyclic prefixnya. Kemudian hasilnya menjadi masukan bagi transformasi FFT. Hasil dari transformasi FFT ini adalah 64 sample yang terdiri dari rekonstruksi simbol kompleks dan konjugatnya. Oleh karena itu untuk mendapatkan rekonstruksi kompleks simbol maka bagian konjugatnya dihilangkan terlebih dahulu. Rekonstruksi simbol kompleks yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 4.6.a., 4.6.b., dan 4.6.c. Untuk channel ideal dan response channel $h = v$ terlihat rekonstruksi simbol kompleks dapat dihasilkan kembali simbol kompleks yang sama dengan simbol kompleks pada transmitter, yaitu pada subchannel ke 31 yaitu besarnya $-0,7071 - 0,7071i$ yang dapat ditulis $1 \angle 225^\circ$ yang terletak pada kuadran ketiga bidang *inphase-quadrature*. Sedangkan untuk channel tidak ideal dengan response channel $h > v$ rekonstruksi simbol yang dihasilkan pada subchannel 31 adalah $-0,7119 - 0,7067i$ yang dapat ditulis $1,003 \angle 224,78^\circ$ yang juga terletak pada kuadran ketiga bidang *inphase-quadrature*.



Gambar 4.6.a. Rekonstruksi simbol untuk channel ideal



Gambar 4.6.b. Rekonstruksi simbol untuk channel $h = v$



Gambar 4.6.c. Rekonstruksi untuk channel response $h > v$

4.6 Rekonstruksi data

Proses rekonstruksi data diawali dengan masing-masing komponen *inphase-quadrature* dikalikan dengan frekuensi pembawa, pada salah satu hasil simulasi pada subkanal 31 dengan channel response $h > v$, rekonstruksi simbol yang dihasilkan adalah $-0,7119 - 0,7067i$, apabila dikembalikan ke persamaan 3.1, rekonstruksi simbol menjadi $-0,7119\cos\omega t - 0,7067\sin\omega t$. Proses pendekodean yang terjadi :

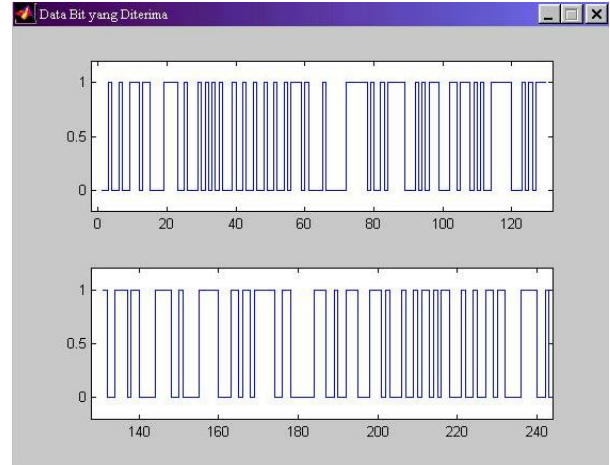
Rekonstruksi simbol x frekuensi pembawa
 $= -0,7119\cos\omega t \times \cos\omega t - 0,7067\sin\omega t \times \sin\omega t$
 $= -0,7119\cos^2\omega t - 0,7067\sin^2\omega t$
 $= -0,7119 [\frac{1}{2} + \frac{1}{2}\cos 2\omega t] - 0,7067 [\frac{1}{2} - \frac{1}{2}\sin 2\omega t]$
 $= -0,35595 - 0,35595\cos 2\omega t - 0,35335 + 0,35335\sin 2\omega t$ (komponen yang mengandung $\cos 2\omega t$ dan $\sin 2\omega t$ difilter serta dengan syarat seperti kebalikan pada modulator, yaitu setiap masukan bit 1, pada *inphase* dan *quadrature* menjadi negatif, maka pada demodulator setiap *inphase* dan *quadrature* bernilai negatif keluarannya bernilai positif).

Rekonstruksi simbol x frekuensi pembawa pada sisi *inphase*
 $= 0,35595$ (keluaran lebih besar dari nol sama dengan satu) = 1

Rekonstruksi simbol x frekuensi pembawa pada sisi *quadrature*:

$= 0,35335$ (keluaran lebih besar dari nol sama dengan satu) = 1

Dalam bentuk grafik rekonstruksi data yang dihasilkan dapat dilihat pada gambar 4.7.

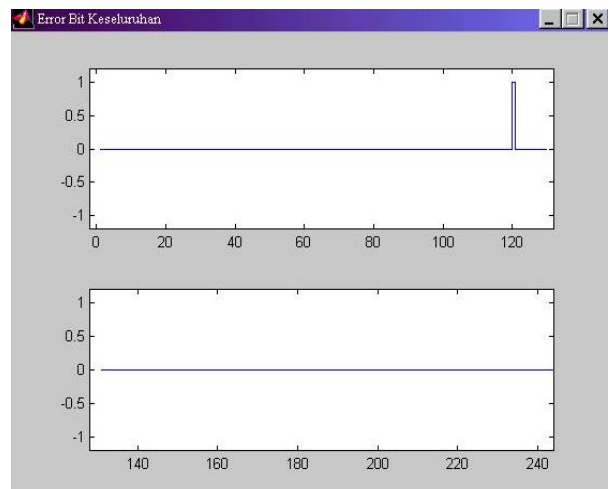


Gambar 4.7. Rekonstruksi data untuk channel $h > v$

4.7 Kesalahan Data

Untuk channel ideal tidak akan terjadi kesalahan data, data yang dikirimkan akan sama persis dengan data yang diterima. Pada channel tidak ideal dengan channel response $h = v$ ternyata juga tidak terjadi kesalahan data, hal ini disebabkan karena penambahan cyclic prefix. Kesalahan data terjadi pada channel tidak ideal dengan channel response $h > v$, hal ini disebabkan banyaknya sample h yang lebih banyak dari v sehingga sebagian sample h tidak ikut hilang pada saat remove/penghilangan cyclic prefix sedangkan pada channel dengan $h = v$ sample h ikut terremove/dihilangkan bersamaan dengan remove cyclic prefix sehingga tidak berpengaruh pada data yang ditransmisikan. Grafik kesalahan data selengkapnya ditunjukkan pada gambar 4.8.

Pada salah satu simulasi untuk channel $h > v$ dari 244 bit yang dikirimkan terdapat satu kesalahan bit sehingga rasio kesalahan bit dapat dihitung yaitu $1/244 \times 100\% = 0,4098\%$.



Gambar 4.8. Grafik kesalahan data pada channel $h > v$

IV PENUTUP

4.1. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisa pada bab sebelumnya, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pembentukan alokasi bit pada masing-masing subchannel yang bersifat acak, menghasilkan kecepatan bit yang bersifat acak pula.
2. Channel impulse response dapat menyebabkan terjadinya interferensi intersymbol sehingga terjadi kesalahan data hasil transmisi. Dalam salah satu hasil simulasi didapatkan kesalahan data sebesar 0,4098%.
3. Penambahan cyclic prefix yang lebih besar dari channel response dapat menghindari terjadinya interferensi intersymbol.

4.2. Saran

Beberapa saran yang dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk pengembangan lebih lanjut simulasi modulasi discrete multitone antara lain :

1. Untuk pengembangan TA lebih lanjut, perlu ditambahkan proses-proses selain modulasi dan demodulasi seperti, error control, equalisasi, ADSL front end dan lain-lain.
2. Perlu ditambahkan pertimbangan gangguan atau noise yang lain seperti derau dan redaman akibat saluran transmisi.
3. Mengingat keterbatasan pengetahuan penulis tentang bahasa pemrograman MATLAB, maka perlu dipikirkan penggunaan dan pemilihan fungsi ataupun operasi yang digunakan agar lebih sederhana dan lebih mudah dipahami.

DAFTAR PUSTAKA

1., ADSL Technologies : *Moving Toward the "Lite" and Beyond*, Electronic Design.
2., *Asymmetrical Digital Subscriber Line*, gematelonline.com
3., *Data Communications Standard ADSL*, ANSI, 1998.
4., *Digital Modulation in Communication System an Introduction Application Note 1298*, Hewlett Packard, 1997
5., *G Lite : Making the internet fast enough for consumer*, www.aware.com, 1999.
6., *Modem 2 Mbps*, Institut Teknologi Bandung 1999.
7., *Multicarrier Modulation : Some basic*, Bridge Tab, Institute for Integrated Circuit.
8., *Pemodelan Jaringan xDSL*, Majalah Gematel.
9., *Perkembangan Teknologi ADSL*, gematelonline.com

10. Chen, W.Y., *DSL Simulation Techniques and Standard Development for Digital Subscriber Line*, Macmilan Technical Publishing, 1998.
11. Cioffi, John M., *A Multicarrier Primer*, Amati Communication Corp and Stanford University, November, 1997.
12. Diatermen Anggen, *Perkembangan Teknologi DSL*, Majalah Gematel.
13. Emmanuel C.H., Barrie W.J., *Digital Signal Processing, A Practical Approach*, Addison Wesley Publishing Company.
14. G Young, K.T. Foster and J.W. Cook, *Broadband Multimedia Delivery Over Copper*, BT Technol J, Vol 13 No. 4 October, 1995.
15. Michael Schlegel, *tutorial on digital data transmission in the telephone loop plant*
16. PP. Vadyanathan, *Filter Banks in Digital Communications*, Dept. Of Electrical Engineering California Institute of Technology Pasadena, CA.
17. Prof E.P. Went Worth, *Multimedia Access Technologi*, Nov 1997 Dept of Computer Science, Phodes University.
18. Ryan C. Tomasetti, *Discrete Multitone Simulation*, EE535 Homepage.

Penulis dilahirkan di Klaten dengan nama Purwanto Nugroho. Semasa kuliahnya penulis pernah aktif di organisasi kemahasiswaan baik ditingkat jurusan maupun tingkat fakultas. Penulis juga aktif di bidang olah raga terutama sepak bola, selama kiprahnya ia membawa TE aktif dalam kejuaraan sepak bola baik tingkat jurusan, fakultas maupun universitas. Pernah menjadi asisten praktikum sekali 'karena tidak ada lagi yang mau menjadi asisten waktu itu'. Dan saat ini penulis yang mengambil konsentrasi telekomunikasi di TE Undip ini terus menerus berdoa agar diberi kemudahan dan jalan yang gampang untuk segera menyelesaikan studinya.

Makalah ini telah disetujui oleh :

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Sudjadi, MT
NIP. 131 558 567

Ajub Ajulian A, ST
NIP. 132 205 684

