



REPUBLIK INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00202129243, 22 Juni 2021

Pencipta

Nama : **Dr. Teddy Purnamirza, ST., M.Eng**
Alamat : Jl. Tiram No 1, Kelurahan Tangkerang Barat, Kecamatan Marpoyan Damai, Pekanbaru, RIAU, 28282
Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta

Nama : **Dr. Teddy Purnamirza, ST., M.Eng**
Alamat : Jl. Tiram No 1, Kelurahan Tangkerang Barat, Kecamatan Marpoyan Damai, Pekanbaru, RIAU, 28282
Kewarganegaraan : Indonesia

Jenis Ciptaan : **Buku**
Judul Ciptaan : **SISTEM TELEKOMUNIKASI**
Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali : 20 November 2008, di PEKANBARU
di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia
Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, terhitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.
Nomor pencatatan : 000256047

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.
Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL

Dr. Freddy Harris, S.H., LL.M., ACCS.
NIP. 196611181994031001

Disclaimer:

Dalam hal pemohon memberikan keterangan tidak sesuai dengan surat pernyataan, menteri berwenang untuk mencabut surat pencatatan permohonan.

Deskripsi

Buku ini memfokuskan diskusi pada sistem telekomunikasi analog dan berbagai jenis teknik modulasi dan demodulasinya, seperti FM serta AM dengan berbagai variannya. Disamping itu pengantar tentang pengertian sistem telekomunikasi, analisa transformasi fourier dan konvolusi untuk memahami pergeseran bandwidth karena proses modulasi juga dijelaskan dengan gamblang. Untuk lebih memahamkan konsep modulasi analog, maka pembahasan mengenai membangun sistem modulasi AM dan FM serta menghasilkan bentuk gelombangnya menggunakan Matlab juga dijelaskan secara detail.



Sistem Komunikasi I

Teddy Purnamirza, ST,M.Eng

Penerbit: Suska Press 2018

SISTEM KOMUNIKASI I

Penulis

Teddy Purnamirza, ST, M.Eng

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang

ISBN:978-602-8437-18-9

Desain Sampul

Teddy Purnamirza, ST, M.Eng

Tata Letak

Teddy Purnamirza, ST, M.Eng

Cetakan I, November 2008

Penerbit

Suska Press UIN Suska Riau

Jl Subrantas Km 22.5 Pekanbaru

Telp (0761) 858832 Fax (0761)858832

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh isis buku ini dengan cara apapun, termasuk dengan cara penggunaan mesin fotocopy tanpa izin dari penulis
--

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabil'alamin penulis ucapkan kepada Allah Subhanawataala atas limpahan rahmatNya, sehingga akhirnya penulis mampu menyelesaikan buku yang berjudul: "Sistem Telekomunikasi I" ini. Tidak lupa penulis menyampaikan salawat dan salam kepada junjungan alam Nabi Muhammad Rasulullah shallallahu 'alaihi wasallam.

Buku ini membahas tentang konsep dasar dan cara kerja sistem komunikasi analog terutama yang menggunakan teknik modulasi AM dan FM. Buku ini diilhami dari pengalaman penulis dalam mengajar matakuliah "Sistem Telekomunikasi" di Jurusan Teknik Elektro UIN Suska Riau, yang telah penulis lakukan semenjak 3 tahun yang lalu. Dimana selama tiga tahun mengajarkan matakuliah ini mahasiswa dan penulis sendiri merasa sulit untuk menemukan buku mengenai sistem telekomunikasi I yang mudah untuk dicerna dan dipahami oleh mahasiswa tingkat sarjana (S1). Karena seperti yang kita ketahui bersama bahwa materi pelajaran sistem telekomunikasi merupakan materi pelajaran yang cukup sulit dan banyak melibatkan matematika dalam analisisnya. Oleh karena itu penulis berusaha untuk menyederhanakan pembahasan matematika dalam buku ini sehingga menjadi lebih mudah untuk dimengerti oleh mahasiswa tingkat S1. Selain itu buku ini lebih berupa sari dari beberapa buku teks yang materinya telah disesuaikan dengan silabus matakuliah sistem telekomunikasi I. Penulis berharap dengan buku ini mahasiswa menjadi terbantu dalam mempelajari materi kuliah sistem telekomunikasi I dan tidak harus disulitkan dengan membaca berbagai buku referensi.

Disamping itu, penulisan buku ini juga termotivasi dari kurangnya buku mengenai sistem telekomunikasi yang berbahasa Indonesia. Oleh karena itulah, untuk memperkaya

khazanah buku-buku berbahasa Indonesia dan untuk saling berbagi ilmu pengetahuan maka penulis memberanikan diri untuk menulis buku tentang sistem telekomunikasi ini.

Penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan yang terdapat dalam buku ini. Namun meskipun begitu penulis sangat berharap buku ini dapat menjadi awal yang baik dalam pengembangan penulisan buku mengenai sistem telekomunikasi, sehingga buku ini dapat diacu dan dikembangkan oleh siapapun saja sampai mencapai derajat yang mendekati sempurna.

Buku ini terdiri dari tujuh bab. Bab Satu membahas mengenai pengantar terhadap sistem komunikasi. Bab Dua berisikan beberapa materi matematika yang perlu untuk dipahami mahasiswa sebelum mereka mempelajari sistem komunikasi. Pada Bab ke tiga, penulis membahas mengenai sistem modulasi AM yang merupakan sistem modulasi yang paling sederhana. Selanjutnya pada bab empat dan bab kelima penulis memberikan tutorial modulasi AM menggunakan pemrograman Matlab. Penulis berharap dengan adanya latihan pemrograman Matlab ini mahasiswa akan mendapatkan pengertian yang lebih dalam mengenai konsep dan cara kerja modulasi AM. Bab keenam membahas mengenai teknik modulasi FM yang kemudian dilanjutkan dengan bab tujuh sebagai tutorial Matlabnya.

Rasulullah shallallahu 'alaihi wasallam bersabda, "Tidak disebut bersyukur kepada Allah, orang yang tidak bersyukur kepada manusia". Karenanya, Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan banyak terima kasih dan jazakullohukhoiron kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan baik secara langsung maupun tidak langsung terhadap terlaksananya penulisan buku ini:

1. Bapak Prof Dr Amril yang telah berkenan memberikan kepercayaan kepada penulis untuk menyusun buku ini.

2. Kawan-kawan sesama dosen di Fakultas Sains dan Teknologi sebagai kawan tempat berbagi ilmu dan berdiskusi.
3. Tidak lupa kepada Istri penulis yang penulis cintai: Depriwana Rahmi, SPd, MSc yang selalu dengan sabar berusaha memahami kesibukan dan kekurangan penulis.
4. Dan ketiga buah hati penulis yang selalu memberikan warna indah pada hari-hari penulis, "Aliya Nur Fazilla, Aqila Nur Fayyaza, dan Ayesha Nur Farhana", tanamkanlah kata-kata ini dihatimu wahai buah hatiku "Ya bunayya la tusrik billah..."

Penulis sangat menyadari bahwa buku ini belum sempurna, sehingga kritik dan saran dari seluruh pembaca sangat penulis harapkan demi sempurnanya buku ini. Demikianlah semoga buku ini dapat memberikan manfaat kepada kita semua.

Pekanbaru, 20 November 2018
Penulis,

Teddy Purnamirza, ST, M.Eng

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR

DAFTAR ISI

BAB I

PENGANTAR SISTEM KOMUNIKASI	1
1.1 Defenisi Sistem Komunikasi	2
1.2 Bagian-bagian Pada Sebuah Sistem Komunikasi	2
1.3 Contoh sistem komunikasi	3
1.4 Sistem Telekomunikasi	4
1.5 Klasifikasi Sistem Komunikasi	4
1.6 Mengapa harus digital ?	5
1.7 Berbagai macam jenis sistem komunikasi.	7
1.8.a Sistem Komunikasi Terrestrial	7
1.8.b Sistem Komunikasi Satelit	8
1.8.c Sistem Komunikasi Serat Optik	9
1.8.d Sistem komunikasi Seluler	10
Latihan	11

BAB II

SINYAL SINUS, TRANSFORMASI

FOURIER DAN BANDWIDTH	12
2.1 Bentuk Gelombang Sinyal Sinus	13
2.2 Transformasi Fourier	19
2.3 Lebar Pita Frekuensi (<i>Bandwidth</i>)	24
2.4 Konvolusi	27
2.4.1 Pengertian Konvolusi	27
2.4.2 Contoh Konvolusi dalam Sistem Komunikasi	31
Latihan	35

BAB III	
SISTEM KOMUNIKASI ANALOG	36
3.1 Diagram Sistem Komunikasi Analog	37
3.2 Modulasi	38
3.3 Bagan Sistem Modulasi	40
3.4 Modulasi AM	41
3.4.1 AM-Double Sided Band-Full Carrier (AM-DSB-FC)	41
3.4.2 Persamaan sinyal AM-DSB-FC dalam domain waktu	42
3.4.3 Pengaruh indeks modulasi (m)	45
3.4.4 Sinyal AM-DSB-FC dalam domain frekuensi	47
3.4.5 <i>Bandwidth</i> Sinyal AM-DSB-FC	58
3.4.6 Demodulasi Sinyal AM-DSB-FC	59
3.4.7 Daya Sinyal AM-DSB-FC	63
3.4.8 Daya Sinyal AM-DSB-FC Dengan Sinyal Pemodulasi Sinus	64
3.5 Modulasi AM-DSB-SC (AM-DSB-Suppressed Carrier)	67
3.5.1 Modulasi Sinyal AM-DSB-SC dalam domain waktu	68
3.5.2 Demodulasi Sinyal AM-DSB-SC dalam domain waktu	69
3.5.3 Spektrum Sinyal AM-DSB-SC	71
3.5.4 Rangkaian Demodulator AM-DSB-SC	74
3.6 Penerima Superheterodyn	77
Latihan	80
BAB IV	
MODULASI AM DOMAIN WAKTU MENGGUNAKAN MATLAB	82
4.1 Menghasilkan sinyal Informasi Sinus	83
4.2 Menghasilkan sinyal AM-DSB-SC	84

4.3 Menghasilkan sinyal AM-DSB-FC	85
4.4 Menghasilkan sinyal AM-SSB	86
4.5 Demodulasi AM-DSB-SC	88
4.6 Demodulasi AM-DSB-FC	89
4.7 Demodulasi AM-SSB	90
Latihan	92
BAB V	
MODULASI AM DOMAIN FREKUENSI	
MENGGUNAKAN MATLAB	93
5.1 Spektrum Frekuensi Sinyal Informasi	93
5.2 Spektrum Frekuensi Sinyal AM-DSB-SC	99
5.3 Spektrum Frekuensi Sinyal AM-DSB-FC	96
5.4 Spektrum Frekuensi Sinyal AM-SSB	97
Latihan	100
BAB VI	
MODULASI FM DOMAIN WAKTU & FREKUENSI	101
6.1 Persamaan Matematika Sinyal FM	103
6.2 Sinyal FM untuk Pemodulasi Sinus	104
6.3 Rasio Deviasi	106
6.4 Persen Modulasi	107
BAB VII	
MODULASI FM DOMAIN WAKTU & FREKUENSI	
MENGGUNAKAN MATLAB	
7.1 Sinyal Informasi	108
7.2 Sinyal FM	109
7.3 Spektrum Sinyal FM	110
Latihan	113
Daftar Pustaka	114

PENGANTAR SISTEM KOMUNIKASI

Komunikasi merupakan bagian penting dalam kehidupan manusia. Komunikasi telah dimulai semenjak manusia ada dan mengisi muka bumi ini. Selain dengan menggunakan bahasa lisan, dahulu kala orang juga berkomunikasi dengan menggunakan simbol-simbol bunyi dan penglihatan seperti asap (misalnya suku indian sebagai penunjuk adanya musuh), kentongan (di Jawa sebagai penunjuk adanya hal penting), gendang dan gerakan-gerakan tertentu yang mengandung arti tertentu.

Seiring dengan semakin majunya peradaban manusia, maka cara dan media yang digunakan dalam berkomunikasi semakin maju juga. Dimulai dengan ditemukannya kode Morse yang mengirimkan rentetan pulsa listrik yang mengandung arti dari suatu tempat ke tempat lain yang jauh, dilanjutkan dengan telepon kabel, sampai dengan komunikasi seluler tanpa kabel pada saat ini.

1.1. Defenisi Sistem Komunikasi

Sistem komunikasi adalah sistem apa saja yang menyampaikan informasi dari suatu tempat, sebut saja A ke suatu tempat lain, sebut saja B. Contoh yang mudah adalah seseorang yang sedang berbicara dengan seseorang lainnya seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.1 berikut:

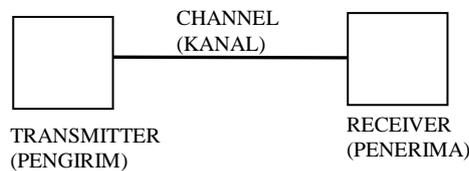


Gambar 1.1 Contoh sederhana sebuah komunikasi

1.2. Bagian-bagian Pada Sebuah Sistem Komunikasi

Sebuah sistem komunikasi terdiri dari pengirim (yang mengirimkan informasi), penerima (yang menerima informasi) dan kanal (tempat dimana informasi disalurkan). Sebuah sistem komunikasi dasar beserta bagian-bagiannya ditunjukkan pada gambar 1.2.

Sebenarnya, komunikasi dua arah adalah komunikasi yang paling sering dilakukan. Oleh karena itu bagian pengirim pada gambar 1.2 dapat juga bersifat sebagai penerima, dan sebaliknya bagian penerima pada gambar 1.2 dapat bersifat sebagai pengirim. Tetapi untuk menyederhanakan gambar maka sistem komunikasi cukup digambarkan seperti pada gambar 1.2.



Gambar 1.2 Bagan Sistem Komunikasi

1.3. Contoh sistem komunikasi

Suatu contoh sederhana dari sebuah sistem komunikasi adalah si Upik yang mengajak si Buyung untuk berangkat kuliah ke kampus UIN Suska Pekanbaru, seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.3 berikut.



Gambar 1.3 Contoh Sistem Komunikasi

Disini si Buyung bertindak sebagai pengirim, dengan mengirimkan informasi ajakan kepada si Upik. Pertama kali otak si Buyung memerintahkan pipa suara untuk bergetar, selanjutnya dengan kombinasi letak lidah dan bibir, getaran udara dari pipa suara membentuk bunyi yang sesuai dengan bunyi kata yang ingin diucapkan oleh si Buyung.

Kata-kata yang berupa getaran udara kemudian menjalar melalui udara mencapai gendang telinga si (disini udara merupakan kanal tempat suara disalurkan). Getaran di gendang telinga kemudian ditangkap oleh syaraf pendengaran dan diartikan oleh otak si Upik. Disini otak si Upik bertindak sebagai penerima.

Maha Besar Allah yang telah menyempurnakan ciptaanNya.

"Dan diantara pergantian siang dan malam, terdapat tanda-tanda kebesaran Allah bagi mereka yang berfikir".
(Alqur'an)

1.4. Sistem Telekomunikasi

Sistem telekomunikasi secara mudah dapat diartikan sebagai sistem komunikasi yang melakukan penyampaian informasi dari jarak jauh. Jarak tentunya sangat relatif. Disini kita tidak menetapkan seberapa jauh jarak yang ditentukan agar sebuah sistem komunikasi dapat dikatakan sebagai sebuah sistem telekomunikasi. Jarak yang ditentukan disini adalah jarak yang cukup jauh dimana komunikasi langsung menggunakan lisan manusia tidak lagi dapat dilakukan, sehingga diperlukan alat bantu tambahan, seperti telepon, HP, dan berbagai alat bantu komunikasi jarak jauh lainnya. Selanjutnya di dalam buku ini kita akan menggunakan istilah "sistem komunikasi" untuk menyebutkan "sistem telekomunikasi".

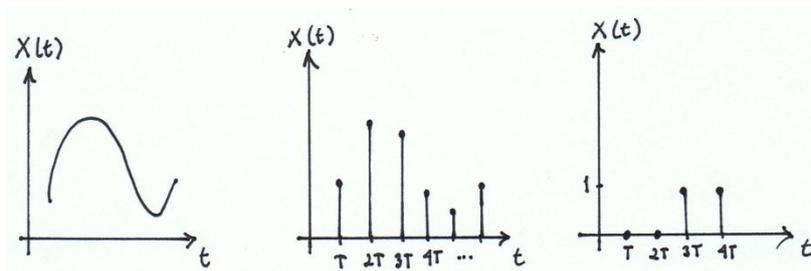
1.5. Klasifikasi Sistem Komunikasi

Sistem komunikasi dibedakan menjadi dua kelompok besar, yaitu sistem komunikasi analog dan sistem komunikasi digital. Sistem komunikasi analog adalah sistem komunikasi dimana sinyal yang diproses pada bagian pengirim dan penerima merupakan sinyal analog. Sistem komunikasi digital adalah sistem komunikasi dimana sinyal yang diproses pada bagian pengirim dan penerima merupakan sinyal digital.

Pada sistem komunikasi digital, sinyal informasi asli dapat berupa sinyal analog. Agar sinyal analog ini dapat diproses melalui suatu sistem komunikasi digital, maka pada sistem komunikasi digital terdapat suatu bagian yang disebut *source coder*. *Source coder* berfungsi mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital pada bagian pengirim. Juga pada bagian penerima terdapat sebuah *source decoder* yang berfungsi mengubah sinyal digital menjadi sinyal analog kembali.

Seperti yang kita ketahui, sinyal analog adalah sinyal yang memiliki nilai di semua waktu dalam rentang waktu

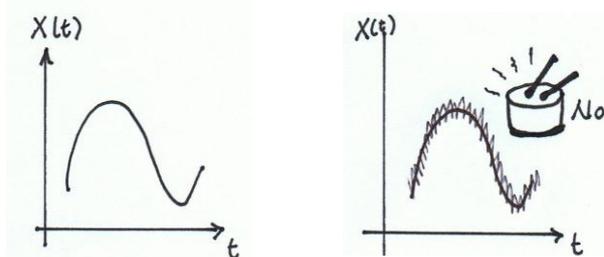
tertentu. Sedangkan sinyal diskrit adalah sinyal yang memiliki nilai pada waktu-waktu tertentu saja yang terpisah sepanjang suatu perioda waktu. Sementara itu, sinyal digital adalah sinyal diskrit yang memiliki dua nilai saja. Gambar 1.5 berisi contoh gambar sinyal analog, sinyal diskrit dan sinyal digital.



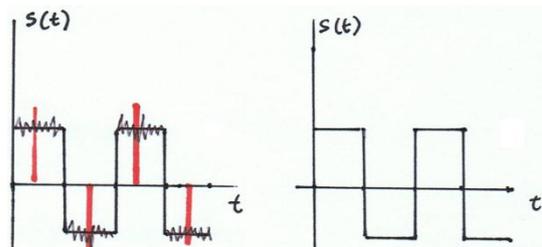
Gambar 1.5 (a) Sinyal Analogi (b) Sinyal Diskrit (c) Sinyal Digital

1.6. Mengapa harus digital ?

Dewasa ini, semua perangkat telah beralih kepada perangkat digital. Begitu juga dengan perangkat-perangkat telekomunikasi secara berangsur-angsur beralih menjadi digital. Alasannya adalah selain ongkos produksi perangkat digital yang murah, juga dikarenakan sinyal digital lebih mudah untuk diproses. Sebagai contoh ditunjukkan pada gambar 1.6 dan 1.7 berikut



Gambar 1.6 (a) Sinyal Analog (b) Sinyal Analog Bercampur Noise



Gambar 1.7 (a) Sinyal Digital yang disampling (merah) (b) Sinyal Digital hasil rekonstruksi Sampling

Gambar 1.6a menunjukkan contoh gambar sebuah sinyal analog. Gambar 1.6b menunjukkan sinyal analog yang telah bercampur dengan derau (*noise*) pada bagian penerima. Di sini kita sama sekali tidak dapat memisahkan antara derau dan sinyal informasi asli (sinyal analog). Gambar 1.7a menunjukkan gambar sinyal digital yang telah bercampur dengan derau. Disini selanjutnya kita akan memperhatikan bagaimana kita bisa menghilangkan derau pada sinyal digital. Perhatikan cara berikut: Jika kita mengambil nilai pada suatu titik tertentu disetiap tengah-tengah bit pulsa (gambar 1.7a), maka kita akan bisa mengatakan bahwa jika nilai tersebut terletak diatas 0 V maka sinyal tersebut adalah bit 1, sedangkan selama nilai tersebut terletak dibawah 0 V maka sinyal tersebut adalah bit 0. Jika proses pencuplikan nilai di tengah-tengah pulsa digital ini dilakukan pada setiap bit pulsa digital pada gambar 1.7a, maka akan dihasilkan pulsa bit baru yang baru seperti gambar 1.7b.

Dari penjelasan diatas terbukti bahwa kita dapat menghilangkan derau yang bercampur dengan sinyal digital, sementara dilain pihak kita tidak dapat menghilangkan derau dari sinyal analog.

Meskipun kita telah membuktikan bahwa sinyal digital memiliki banyak kelebihan dibandingkan sinyal analog, ini bukan berarti bahwa perangkat-perangkat komunikasi analog

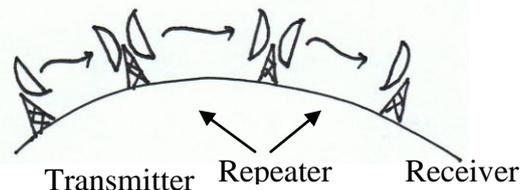
dengan mudah dapat diganti serta merta dengan komunikasi digital. Sampai saat ini masih banyak sistem komunikasi analog yang digunakan, seperti stasiun televisi swasta dan stasiun radio swasta FM, dan sebagian pesawat penerima televisi di rumah-rumah penduduk yang masih menggunakan penerima analog.

1.7. Berbagai macam jenis sistem komunikasi.

Terdapat berbagai macam aplikasi sistem komunikasi yang ada dan dipakai sampai saat ini. Sebagai contohnya: sistem komunikasi satelit, sistem komunikasi teresterial, sistem komunikasi seluler, dan sistem komunikasi optik. Pada dasarnya semua contoh sistem komunikasi ini sama, yaitu terdiri dari pengirim, kanal dan penerima. Yang membedakannya adalah hanya pada kanal tempat sinyal ditransmisikan, bentuk sinyal dan perangkat bantu yang digunakan.

1.7.a Sistem Komunikasi Teresterial

Pada sistem komunikasi teresterial, sinyal dikirimkan dari suatu tempat ke tempat lain melalui gelombang radio (udara), karenanya sistem komunikasi teresterial menggunakan antena (pengubah listrik ke gelombang). Karena sinyal diarahkan dari suatu tempat ke suatu tempat lain (*point to point*), maka antena harus berupa antena pengarah, karenanya digunakan antena parabola. Untuk jarak yang sangat jauh komunikasi teresterial menggunakan pengulang pada setiap jarak tertentu. Gambar komunikasi teresterial ditunjukkan pada gambar 1.7 berikut.

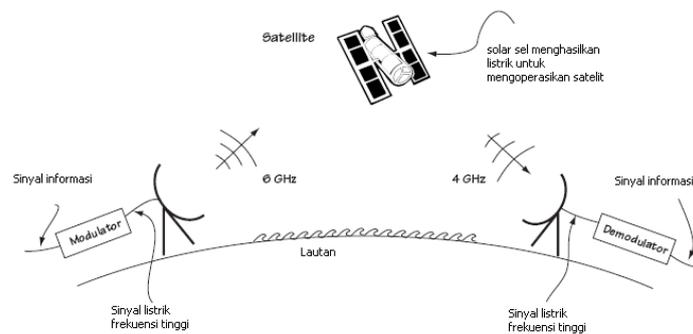


Gambar 1.7 Komunikasi Teresterial

Pada sistem komunikasi teresterial tidak boleh ada penghalang antara antena pengirim dan antena penerima (disebut juga kondisi ini sebagai *Line of sight* atau LOS). Biasanya sistem komunikasi teresterial ini digunakan pada komunikasi antara *Base Station* dengan MSC, komunikasi *trunk* antar kota, atau hubungan internet antara provider internet dengan pelanggan (untuk jarak yang tidak terlalu jauh).

1.7.b Sistem Komunikasi Satelit

Pada sistem komunikasi satelit, alat bantu yang digunakan adalah satelit. Disini satelit berfungsi untuk menerima sinyal dari suatu tempat di bumi, menguatkannya dan mengirimkannya kembali ke bumi. Ini berarti satelit bertindak sebagai penerus sinyal dari suatu bagian bumi ke bagian bumi lainnya, yang mana jarak antara kedua bagian bumi itu cukup jauh sehingga tidak dapat dihubungkan dengan komunikasi teresterial. Gambar sistem komunikasi satelit ditunjukkan pada gambar 1.8.



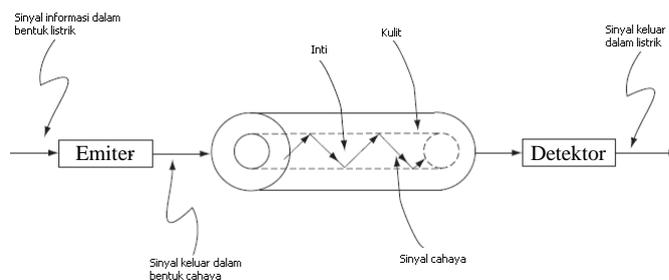
Gambar 1.8 Komunikasi Satelit

Sistem komunikasi satelit sebenarnya terdiri atas dua sistem komunikasi, yaitu pertama, pengirim di bumi (pengirim) dan penerima di satelit (penerima); kedua, pengirim di satelit (pengirim) dan penerima di bumi (penerima). Sistem komunikasi satelit biasanya digunakan pada komunikasi mesin

ATM dengan kantor bank, komunikasi antar pelanggan dan stasiun pada televisi sewa (contoh indivision, astro) dan TV swasta (RCTI, SCTV, dll), komunikasi antara daerah *remote* dan kantor pusat sebuah perusahaan yang letaknya tersebar pada wilayah yang luas, dimana perusahaan itu menyewa *link* komunikasi data dari sebuah penyedia jasa jaringan yang menggunakan satelit sebagai *backbone* jaringannya.

1.7.c Sistem Komunikasi Serat Optik

Sistem komunikasi serat optik menggunakan media serat optik sebagai kanal transmisinya. Sinyal yang mengalir pada sistem komunikasi ini berbentuk cahaya, oleh karenanya terdapat konverter listrik ke cahaya pada pengirim dan konverter cahaya ke listrik pada penerima. Sistem komunikasi serat optik ini biasanya digunakan pada komunikasi *trunk*. Karena kapasitas transmisinya yang besar maka sebuah serat optik dapat digunakan untuk mengirimkan ribuan komunikasi telpon untuk disalurkan ke bagian penerima. Disamping itu serat optik juga sering digunakan pada komunikasi pada *Local Area Network (LAN)* dan komunikasi antara BTS dan MSC. Gambar 1.9 menunjukkan bagan sistem komunikasi serat optik.

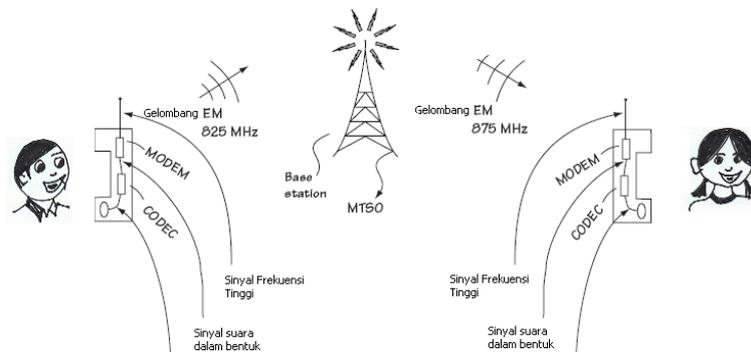


Gambar 1.9 Komunikasi Serat Optik

1.7.d Sistem komunikasi Seluler

Sistem komunikasi seluler memungkinkan kita untuk berkomunikasi telpon tanpa menggunakan kabel. Pada sistem komunikasi seluler, sinyal dikirimkan melalui gelombang radio atau udara.

Sistem komunikasi seluler membagi wilayah cakupannya dalam daerah yang kecil-kecil yang disebut sel, seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.10. Pada setiap sel terdapat sebuah BTS yang menyebarkan sinyal ke seluruh daerah cakupan selnya. HP pelanggan berkomunikasi dengan mengirim sinyal ke BTS dan BTS selanjutnya akan meneruskannya ke sebuah MSC sebagai unit *switching*. MSC akan menghubungkan BTS dimana HP penerima berada. Jika HP penerima menjawab panggilan maka secara otomatis akan terbentuk hubungan antara HP pengirim dan HP penerima.



Gambar 1.10 Komunikasi Seluler

Sistem komunikasi seluler ini memiliki keunggulan dalam hal kemudahan.. Perangkat HP pada sistem komunikasi seluler seiring dengan perkembangan zaman semakin nyaman dipegang (*handy*), baterai yang semakin tahan lama, dan biaya komunikasi yang semakin lama semakin murah. Disamping itu fitur yang ditawarkan semakin menarik. Mulai dari komunikasi

suara, teks (SMS), gambar (MMS), gambar video lawan bicara atau dikalangan awam sering diistilahkan dengan 3G (meskipun ini istilah yang kurang tepat), PDA sampai pada akses internet WAP.

Latihan

1. Coba anda jelaskan secara singkat istilah-istilah berikut ini:
 - a. Sistem Telekomunikasi
 - b. Sistem Komunikasi
 - c. Perbedaan antara sistem telekomunikasi dan sistem komunikasi
 - d. Komunikasi digital
 - e. Komunikasi analog
 - f. Alasan utama kenapa digital lebih disukai dibanding analog
2. Carilah dan gambarkanlah bentuk bagan sistem komunikasi untuk sistem komunikasi serat optik, seluler, satelit, dan teresterial

**BAB
DUA**

**SINYAL SINUS, TRANSFORMASI FOURIER,
BANDWIDTH DAN KONVOLUSI**

Pada bab ini, kita akan mempelajari materi yang merupakan materi pendukung atau alat bantu dalam mempelajari sebuah sistem komunikasi. Sebagai analoginya jika seorang tukang bangunan ingin membuat sebuah rumah, maka ia akan membutuhkan alat bantu untuk mempermudahnya dalam bekerja, seperti sendok semen, cangkul, sekop, dan gerobak sorong. Begitu juga jika kita ingin mempelajari sistem komunikasi maka kita juga membutuhkan alat bantu yang akan mempermudah kita untuk mengerti materi pelajaran sistem komunikasi. Dalam hal ini sebagian alat bantu yang penting untuk mempelajari sistem komunikasi adalah matematika sinyal sinus, transformasi fourier, *bandwidth* dan konvolusi.

Tentunya anda akan bertanya, Kenapa kita membutuhkan pengertian tentang matematika sinyal sinus? Alasannya adalah karena dalam mempelajari proses pengolahan sinyal di bagian pengirim dan penerima kita akan banyak menggunakan sinyal sinus sebagai sinyal informasi. Pertanyaan selanjutnya adalah,

kenapa kita menggunakan sinyal sinus? Jawabannya adalah karena sinyal sinus merupakan sinyal yang cukup sederhana sehingga kita lebih dimudahkan untuk memahami proses komunikasi, dibandingkan kalau kita menggunakan sinyal suara asli yang sangat acak. Tentunya akan memusingkan kita kalau kita mempelajari proses komunikasi dengan menggunakan sinyal yang bentuknya sangat acak. Jangankan mempelajarinya, melihat bentuk sinyalnya saja kita sudah pusing, bukankah begitu?.

Dalam sistem komunikasi, representasi sinyal dalam domain frekuensi seringkali memberikan informasi yang lebih berguna dibandingkan jika kita merepresentasikan sinyal dalam domain waktu. Nah, disini Transformasi Fourier sangat diperlukan untuk mendapatkan spektrum frekuensi dari sinyal yang dipakai (*bandwidth*) pada sebuah sistem komunikasi. Sebagaimana kita ketahui, Transformasi Fourier digunakan untuk mengubah sinyal aperiodik kontinyu domain waktu ke domain frekuensi. Anda pasti akan bertanya kembali, kenapa sinyal aperiodik kontinyu yang khusus kita pelajari? Jawabannya adalah karena sinyal ini merupakan jenis sinyal yang ada di alam nyata, seperti halnya sinyal suara. Kita tidak akan membahas sinyal-sinyal yang periodik kontinyu, karena sinyal ini tidak ada dalam keadaan nyata dan terbatas hanya dalam teori matematika saja. Kita tidak tertarik dengan alam khayal bukan?.

2.1 Bentuk Gelombang Sinyal Sinus

Gambar 2.1 menunjukkan sebuah sinyal sinus yang terentang sepanjang 1 detik. Dari gambar 2.1 ini kita dapat menyimpulkan bahwa sinyal sinus ini memiliki beberapa nilai parameter sebagai berikut:

V_m = Amplituda maksimum, dalam gambar 2.1 V_m bernilai 1

V_{p-p} = Amplituda puncak ke puncak, dalam gambar 2.1 V_{p-p} bernilai 1

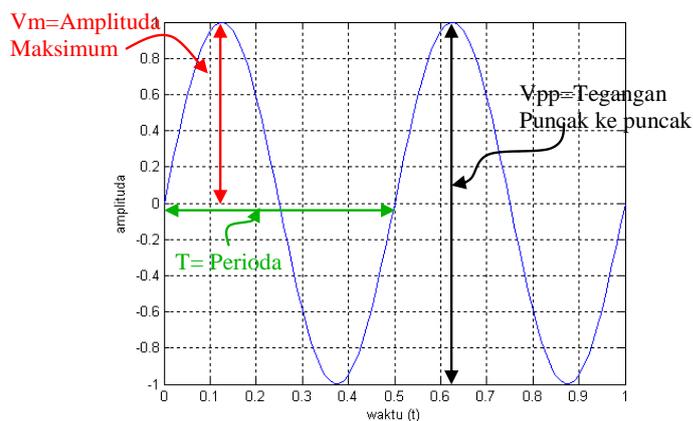
Frekuensi (f) = Jumlah sinyal sinus dalam satu detik, dalam gambar 2.1 dapat dilihat bahwa ada dua gelombang sinus yang terjadi dalam satu detik

Periode (T) = Panjang waktu yang dibutuhkan oleh satu gelombang sinus, pada gambar 2.1 periode bernilai 0.5 (disini periode adalah berbanding terbalik dari frekuensi dengan rumus $T=1/f$)

Fasa (θ) = suatu nilai dimana menentukan keterlambatan sinyal
 $V(t)$ = Sinyal sinus yang merupakan fungsi waktu (berubah-ubah terhadap waktu)

Parameter-parameter di atas disusun menjadi sebuah persamaan umum sinyal sinus sebagai berikut:

$$V(t) = V_m \sin(2\pi ft + \theta) \quad (2.1)$$

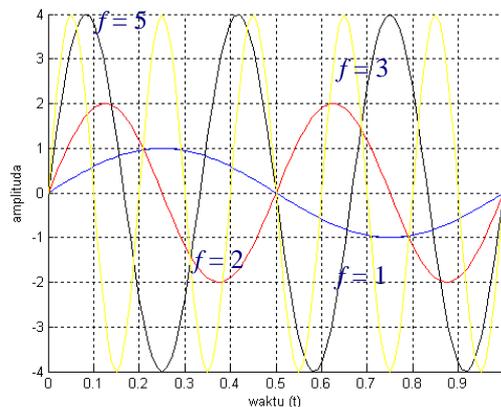


Gambar 2.1. Sebuah contoh Sinyal Sinus

Sekarang mari kita mencoba apakah kita sudah mengerti bentuk dan persamaan sinyal sinus?. Coba perhatikan gambar 2.2. Pada gambar 2.2 terdapat 4 sinyal yang memiliki frekuensi yang berbeda. Dapatkah anda mengambil kesimpulan apa

efeknya terhadap bentuk sinyal jika frekuensi sinyal semakin besar atau semakin kecil?, Ya, jawabannya adalah semakin tinggi frekuensi maka semakin rapat bentuk sinyal yang dihasilkan. Sebaliknya, jika semakin rendah frekuensi maka akan semakin renggang sinyal yang dihasilkan. Perhatikanlah bahwa sinyal yang memiliki frekuensi 5 akan lebih rapat dibandingkan sinyal dengan frekuensi 3. Sinyal dengan frekuensi 3 lebih rapat dibandingkan sinyal dengan frekuensi 2 dan seterusnya.

Sekarang masih pada gambar 2.2, dapatkah anda membedakan bentuk sinyal yang memiliki amplituda maksimum yang berbeda? Ya, jawabannya akan sangat mudah bagi anda. Sangat jelas bahwa sinyal yang memiliki amplituda maksimum yang lebih tinggi akan berbentuk lebih tinggi dibandingkan sinyal yang memiliki amplituda maksimum lebih rendah. Kesimpulan ini akan lebih jelas jika anda memperhatikan perbedaan antara sinyal-sinyal sinus yang ada pada gambar 2.2.

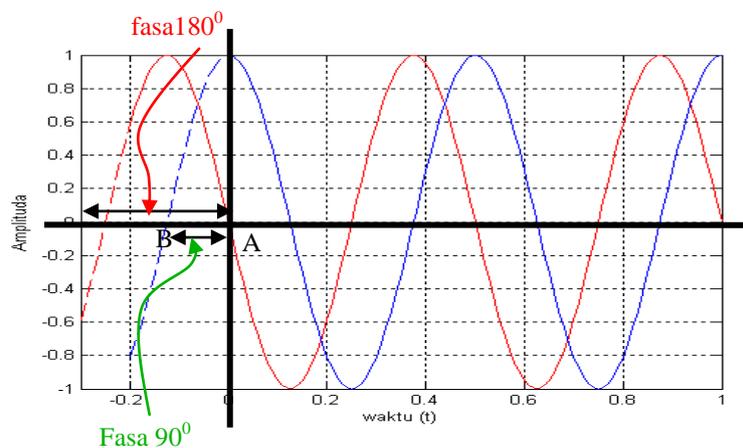


Gambar 2.2. Berbagai macam contoh Sinyal Sinus

Selanjutnya kita akan mencoba untuk membahas bentuk sinyal sinus yang agak lebih rumit. Pada gambar 2.3 ditunjukkan 2 buah sinyal sinus yang memiliki fasa yang berbeda. Bagaimana menentukan fasa kedua sinyal sinus tersebut?.

Fasa kedua sinyal sinus pada gambar 2.2 sebenarnya mudah untuk ditentukan. Sebagai contoh untuk sinyal sinus berwarna biru, fasa didapatkan dengan cara meneruskan gambar sinyal sinus pada titik sumbu datar =0 (titik A) ke kiri (daerah sumbu datar negatif), sampai kepada suatu titik (titik B) dimana sinyal sinus telah berbentuk sempurna. Kemudian ukurlah jarak titik A dan B sehingga kita dapat menentukan bahwa fasa sinyal sinus tersebut adalah 90^0 atau $\pi/2$ radian.

Sekarang, dapatkan anda menentukan fasa sinyal sinus yang berwarna merah? Ya, jika anda melakukannya dengan benar, maka anda akan mendapatkan besar fasa untuk sinyal sinus berwarna merah sebesar 180^0 atau sebesar π radian.



Gambar 2.3 Contoh Dua Sinyal Sinus Berbeda Fasa

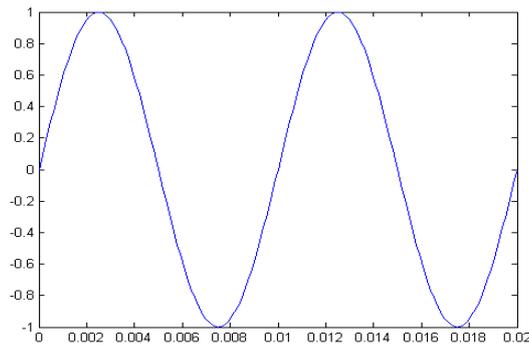
Latihan:

Buatlah gelombang sinus dengan frekuensi 100 dan amplituda maksimum 2 dan fasa $\pi/4$ radian dalam rentang waktu 0.02 detik!

Jawab

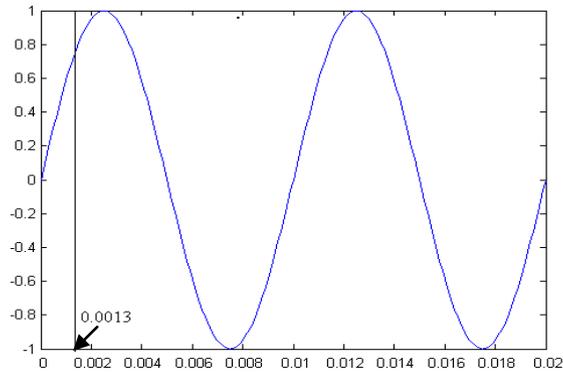
Dari parameter-parameter yang diberikan pada soal latihan diatas, dapat anda tentukan hal-hal sebagai berikut:

1. Frekuensi 100, maka perioda sinyal adalah $1/100 = 0.01$, karena rentang waktu sinyal sinus adalah selama 0.02 detik maka akan terdapat 2 gelombang sinyal sinus ($0.02/0.01=2$). Kita akan gambarkan gelombang sinus seperti gambar 2.4 dibawah ini:



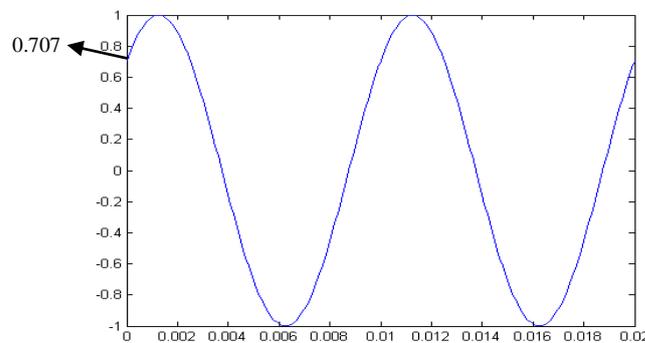
Gambar 2.4 Plot Grafik Untuk Langkah 1

2. Selanjutnya kita perlu untuk meletakkan dimana sumbu tegak akan diletakkan. Karena fasa kita adalah $\pi/4$ maka kita akan menggambarkan sumbu tegak yang baru dengan menggeser sumbu tegak lama ke kanan sebanyak $\pi/4$ radian
3. Titik waktu letak sumbu tegak yang baru didapatkan dengan cara berikut:
untuk $\sin(\pi/4) = \sin(2\pi ft)$ $\Leftrightarrow \pi/4 = 2\pi ft \Leftrightarrow t=1/8f$
 $t=1/8f = 1/(8 \times 100) = 1/800 = 0.0013$
sehingga menjadi gambar baru sebagai berikut :



Gambar 2.5 Plot Grafik Untuk Langkah 3

4. Ubahlah titik 0.0013 menjadi titik $t=0$, selanjutnya nilai $y = \sin(2\pi ft + \pi/4) = \sin(2 \times \pi \times 100 \times 0 + \pi/4) = \sin(\pi/4) = 0.7071$, sehingga gambar menjadi seperti gambar 2.5 berikut:

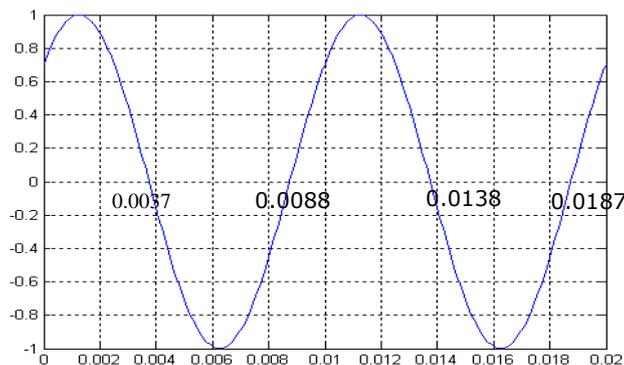


Gambar 2.5 Plot Grafik Untuk Langkah 4

5. Untuk setiap titik $y=0$ maka kita akan dapat menentukan nilai waktunya sebagai berikut:
 $\sin(2\pi ft + \pi/4) = 0$ jika $2\pi ft + \pi/4$ adalah kelipatan π atau ditulis sebagai $n\pi$, dimana $n = \dots -1, 0, 1, 2, 3 \dots$, makanya $2\pi ft + \pi/4 = n\pi$
 $2\pi ft = \pi(n - 1/4)$

$ft = n/2 - 1/8$
 $100t = n/2 - 1/8$
 Untuk $n= 0$ maka $t = 1/800=0.0013$
 Untuk $n= 1$ maka $t = 3/800=0.0037$
 Untuk $n= 2$ maka $t = 7/800=0.0088$
 Untuk $n= 3$ maka $t = 11/800=0.0138$
 Untuk $n= 4$ maka $t = 15/800=0.0187$
 Untuk $n= 5$ maka $t = 19/800=0.0238$

Maka gambar 2.5 diatas dapat kita lengkapi menjadi gambar 2.6 sebagai berikut:



Gambar 2.5 Plot Grafik Untuk Langkah 5

Nah, sekarang kita sudah mendapatkan gambar akhir seperti yang dimaksudkan pada soal latihan, mudah bukan?

2.2 Transformasi Fourier

Seperti yang sudah dibahas pada pengantar Bab II, Transformasi Fourier digunakan untuk melihat spektrum frekuensi dari sebuah sinyal, atau kadangkala dikatakan untuk mengubah representasi sebuah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi.

Transformasi Fourier dirumuskan sebagai berikut:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (2.2)$$

Mungkin jika persamaan 2.2 diatas dijelaskan menggunakan kalimat, maka anda akan lebih mengerti maksud dari persamaan 2.2 diatas. Arti persamaan 2.2 adalah:

Sinyal $x(t)$ dalam domain frekuensi $X(f)$ dapat diperoleh dengan cara melakukan integral terhadap perkalian antara sinyal $x(t)$ dengan $e^{-j2\pi ft}$ sepanjang waktu dari minus tidak hingga sampai plus tidak hingga.

Dalam buku ini kita tidak akan menurunkan darimana kita mendapatkan persamaan 2.2, tetapi kita akan lebih banyak menggunakannya sebagai cara untuk mendapatkan gambar spektrum frekuensi sebuah sinyal informasi. Saya kira anda akan setuju jika saya tidak terlalu banyak berbicara tentang persamaan 2.2 dan langsung membahas sebuah contoh kasus Transformasi Fourier, bukankah begitu?.

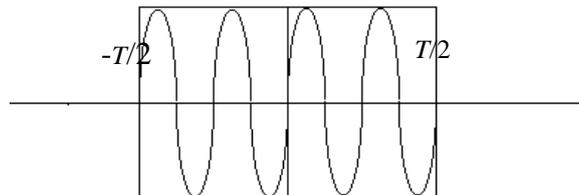
Latihan

Carilah transformasi fourier untuk sinyal berikut ini:

$$\begin{aligned} x(t) &= \cos(2\pi f_1 t) & -T/2 < t < T/2 \\ &= 0 & t \text{ lainnya} \end{aligned}$$

Jawab:

Untuk persamaan $x(t)$ diatas maka sinyal $x(t)$ dapat digambarkan sebagai berikut: $x(t)$



Gambar 2.6 Plot Grafik Untuk $x(t)$

Pertama kali kita tuliskan rumus umum transformasi Fourier sbb:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j2\pi ft} dt \quad (2.3)$$

Selanjutnya jika anda masih ingat pelajaran kalkulus, maka anda akan ingat hubungan pada persamaan 2.4 berikut (tapi jika anda tidak ingat, jangan langsung merasa tak mampu..saya dulu waktu masih mahasiswa juga nggak ingat kok.)

$$x(t) = \cos(2\pi f_1 t) = \frac{e^{j2\pi f_1 t} + e^{-j2\pi f_1 t}}{2} \quad (2.4)$$

Selanjutnya persamaan (2.4) disubsitusikan ke dalam persamaan (2.3) dan dihasilkan persamaan 2.5 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} X(f) &= \int_{-T/2}^{T/2} \cos(2\pi f_1 t) e^{-j2\pi ft} dt \\ &= \frac{1}{2} \int_{-T/2}^{T/2} e^{j2\pi f_1 t} e^{-j2\pi ft} dt + \frac{1}{2} \int_{-T/2}^{T/2} e^{-j2\pi f_1 t} e^{-j2\pi ft} dt \end{aligned} \quad (2.5)$$

Persamaan 2.5 diatas kita sederhanakan lagi (saya yakin, saya tidak perlu menerangkan bagaimana persamaan 2.5 bisa menjadi persamaan 2.6 berikut bukan?)

$$= \frac{1}{2} \int_{-T/2}^{T/2} e^{j2\pi(f_1-f)t} dt + \frac{1}{2} \int_{-T/2}^{T/2} e^{-j2\pi(f_1+f)t} dt \quad (2.6)$$

$$= \frac{1}{2} \left[\frac{e^{j2\pi(f_1-f)t}}{j2\pi(f_1-f)} \right]_{-T/2}^{T/2} + \frac{1}{2} \left[\frac{e^{-j2\pi(f_1+f)t}}{-j2\pi(f_1+f)} \right]_{-T/2}^{T/2} \quad (2.7)$$

Selanjutnya masukkan nilai T/2 dan -T/2 sebagai batas atas dan batas bawah integral ke dalam t, sehingga kita dapatkan persamaan 2.8 berikut:

$$= \frac{1}{2} \left[\frac{e^{j2\pi(f_1-f)T/2} - e^{-j2\pi(f_1-f)T/2}}{j2\pi(f_1-f)} \right] + \frac{1}{2} \left[\frac{-e^{-j2\pi(f_1+f)T/2} + e^{j2\pi(f_1+f)T/2}}{j2\pi(f_1+f)} \right] \quad (2.8)$$

$$= \frac{1}{2} \left[\frac{e^{j\pi(f_1-f)T} - e^{-j\pi(f_1-f)T}}{j2\pi(f_1-f)} \right] + \frac{1}{2} \left[\frac{-e^{-j\pi(f_1+f)T} + e^{j\pi(f_1+f)T}}{j2\pi(f_1+f)} \right] \quad (2.9)$$

Persamaan 2.9 ini kemudian kita sederhanakan lagi dengan menggunakan representasi eksponensial kompleks untuk fungsi sinus, yang menyatakan bahwa

$\sin(x) = \frac{e^{jx} - e^{-jx}}{2j}$. Berdasarkan representasi ini maka kita bisa melakukan perumpamaan sebagai berikut

$$= \frac{1}{2} \left[\frac{e^{j\pi(f_1-f)T} - e^{-j\pi(f_1-f)T}}{j2\pi(f_1-f)} \right] + \frac{1}{2} \left[\frac{-e^{-j\pi(f_1+f)T} + e^{j\pi(f_1+f)T}}{j2\pi(f_1+f)} \right]$$

$\sin(\pi(f_1-f)T)$
 $\sin(\pi(f_1+f)T)$

Sehingga kita dapatkan persamaan 2.10 yang lebih sederhana sebagai berikut:

$$X(f) = \frac{1}{2} \frac{\sin(\pi(f_1-f)T)}{\pi(f_1-f)} + \frac{1}{2} \frac{\sin(\pi(f_1+f)T)}{\pi(f_1+f)} \quad (2.10)$$

Selanjutnya kembali kita sederhanakan persamaan 2.10 diatas dengan mengalikannya dengan T/T sehingga menjadi :

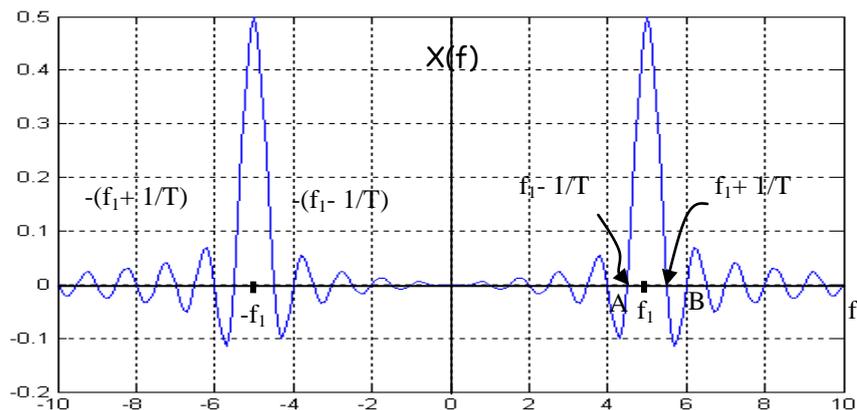
$$X(f) = \frac{T}{2} \frac{\sin(\pi(f_1-f)T)}{\pi(f_1-f)T} + \frac{T}{2} \frac{\sin(\pi(f_1+f)T)}{\pi(f_1+f)T};$$

Selanjutnya, dengan menggunakan rumus bahwa $\text{sinc}(x) = \frac{\sin(x)}{x}$; maka kita dapatkan bentuk yang lebih ringkas seperti persamaan 2.11 berikut:

$$X(f) = \frac{T \sin(\pi(f_1 - f)T)}{2 \pi(f_1 - f)T} + \frac{T \sin(\pi(f_1 + f)T)}{2 \pi(f_1 + f)T}$$

$$X(f) = \frac{T}{2} \text{sinc}(\pi(f_1 - f)T) + \frac{T}{2} \text{sinc}(\pi(f_1 + f)T) \quad (2.11)$$

Persamaan 2.11 diatas kemudian kita gambarkan. Hasilnya ditunjukkan oleh gambar 2.7 berikut ini:

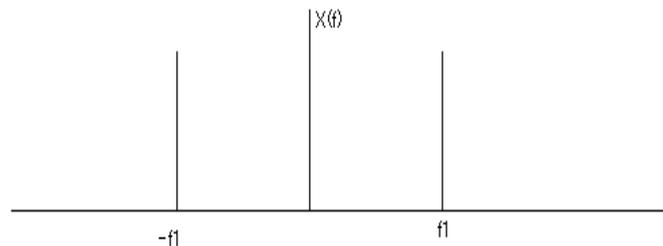


Gambar 2.7 Plot Spektrum $X(f)$

Disini dapat kita perhatikan bahwa spektrum sinyal $X(f)$ yang dihasilkan memiliki dua komponen frekuensi, yaitu komponen frekuensi positif yang berada di sebelah kanan sumbu tegak dan komponen frekuensi negatif yang berada di sebelah kiri sumbu tegak.

Terkadang kita ingin menyederhanakan gambar spektrum yang kita hasilkan, sehingga kita mudah menggambarkannya. Untuk itu kita akan anggap sinyal $x(t)$ terentang pada waktu

yang sangat panjang sehingga $T \Rightarrow \infty$, maka bentuk spektrum sinyal pada gambar 2.7 akan menjadi sangat tipis dan tinggi. Begitu juga titik A dan B pada gambar 2.7 akan mendekati menuju f_1 , sehingga dihasilkan gambar seperti berikut:



Gambar 2.8 Plot Grafik Untuk $x(t)$ jika $T \Rightarrow \infty$

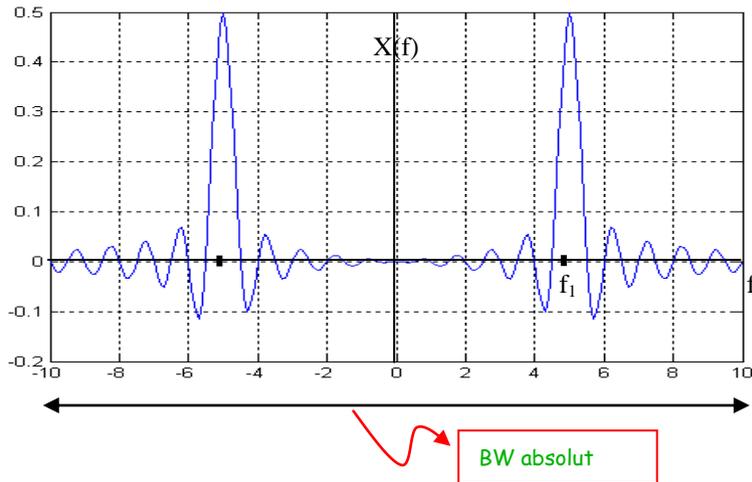
Biasanya persamaan untuk gambar 2.8 diatas ditulis sebagai $X(f) = \frac{1}{2} \delta(f-f_1) + \frac{1}{2} \delta(f+f_1)$ (anda jangan bingung dengan persamaan ini, lambang δ pada persamaan ini merepresentasikan suatu pulsa impuls, sedangkan $f-f_1$ mengatakan bahwa pulsa impuls ini berada pada $f=f_1$).

2.3 Lebar Pita Frekuensi (*Bandwidth*)

Lebar pita frekuensi atau yang sering juga disebut *bandwidth* dan sering juga ditulis secara singkat sebagai BW, adalah lebar pita frekuensi dimana komponen-komponen frekuensi suatu sinyal berada. Tidak pernah ada defenisi yang baku tentang BW. Para insinyur dan ilmuwan terkadang memiliki pengertian yang berbeda tentang BW. Sejumlah defenisi tentang BW yang populer adalah sebagai berikut:

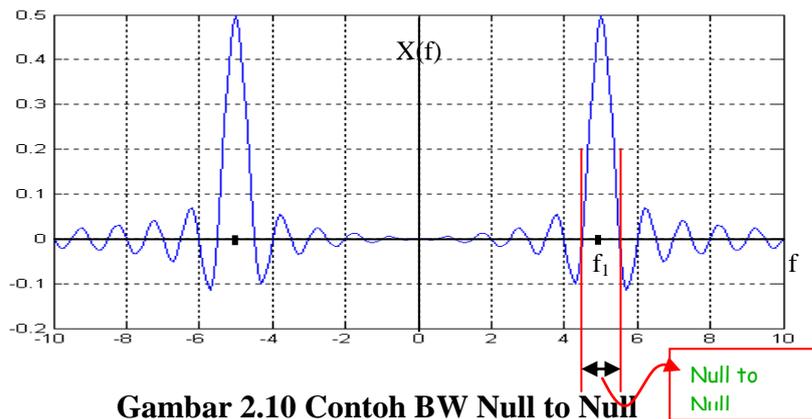
1. BW absolut: adalah jangkauan frekuensi dimana terdapat komponen frekuensi dari sebuah sinyal. Jika kita melihat pada kasus gambar 2.9 berikut, BW absolut akan memiliki nilai tidak hingga, karena sinyal pada gambar 2.9 memiliki nilai komponen frekuensi di setiap titik frekuensi meskipun pada frekuensi yang jauh dari f_1 (Anda pasti tahu bahwa bentuk sinyal *sinc* pada

gambar 2.9 akan memiliki nilai mendekati 0 apabila frekuensinya menuju tidak hingga).



Gambar 2.9 Contoh BW Absolut

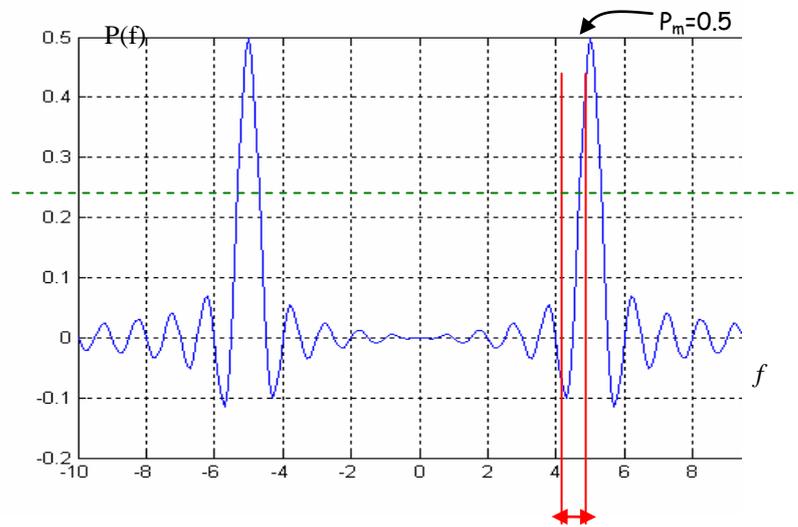
2. BW Null to Null : adalah BW yang mengukur lebar BW dari titik nol pertama sebelah kiri puncak dari $X(f)$ sampai titik nol pertama sebelah kanan dari puncak $X(f)$, seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.10 berikut



Gambar 2.10 Contoh BW Null to Null

3. BW 3 dB: adalah BW yang lebarnya diukur dari titik 3dB sebelah kiri dari puncak $X(f)$ sampai titik 3dB sebelah kanan dari puncak $X(f)$. Titik 3dB adalah titik dimana nilai daya $X(f)$ turun setengah dari daya puncak $X(f)$. Sebagai contoh, perhatikan gambar 2.11. Dari gambar 2.11 dapat dilihat bahwa daya puncak P_m bernilai 0.5 Watt. Maka titik 3 dB adalah titik dimana nilai daya $P(f)$ tinggal 0.25 Watt.

Sampai disini anda mungkin akan bertanya, mengapa dinamakan BW-3dB? Pertanyaan yang sangat bagus sekali... Dinamakan BW ini sebagai BW-3dB adalah karena daya yang turun setengah dari daya puncak, jika diubah dalam bentuk desibel akan bernilai -3 dB. Sebagai contoh jika nilai daya pada gambar 2.11 dinyatakan dalam dB maka $10 \log(0.25/0.5) = 10 \log(0.5) = -3 \text{ dB}$. Disini nilai minus menyatakan bahwa nilai daya turun sebesar 3 dB.



Gambar 2.11 Contoh BW 3 dB

3 dB bandwidth

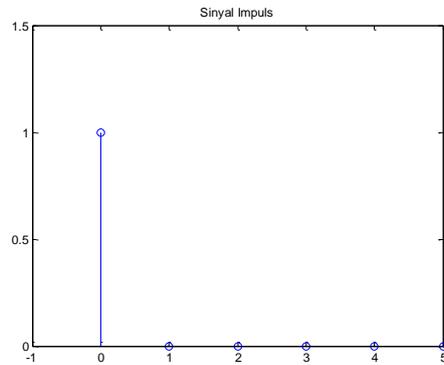
2.4 Konvolusi

2.4.1 Pengertian Konvolusi

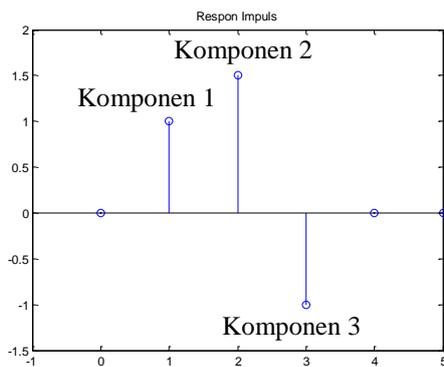
Konvolusi pada prinsipnya adalah istilah yang sering digunakan pada matakuliah Sinyal dan Sistem (Sistem Linear). Konvolusi adalah operasi yang digunakan untuk mendapatkan output sebuah sistem apabila sistem tersebut diberi masukan (input) tertentu.

Konvolusi dilakukan dengan cara mencari respon impuls dari sistem yang bersangkutan. Respon impuls adalah output dari suatu sistem tertentu apabila diberi masukannya berupa sinyal impuls (sinyal dengan amplituda bernilai satu selama waktu yang singkat). Setelah respon impuls didapatkan maka kita dapat menentukan output dari sistem tersebut untuk sembarang masukan (input) yang diketahui. Penentuan output sistem ini dilakukan dengan cara mencari respons sistem untuk setiap masukan secara satu persatu. Setelah itu keseluruhan respon sistem digabungkan sehingga menjadi suatu output

Gambar 2.12 berikut memperlihatkan pengertian dari proses konvolusi. Anggaplah Sinyal 2.12a merupakan suatu sinyal impuls yang memiliki respon impuls seperti sinyal pada 2.12b. Disini kita bisa menganalisa bahwa sistem ini adalah sistem yang melakukan pergeseran terhadap sinyal input sebanyak satu satuan dan menduplikasi sinyal input menjadi 3 sinyal output. Ketiga komponen sinyal output ini adalah sebagai berikut: komponen pertama memiliki nilai yang sama dengan sinyal input, komponen kedua memiliki nilai $\frac{1}{2}$ dari sinyal input dan komponen ketiga memiliki nilai negatif dari sinyal input, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2.12b.

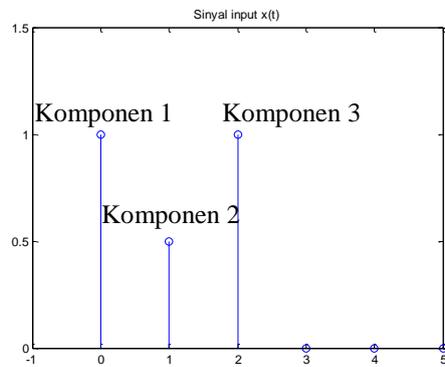


(a)



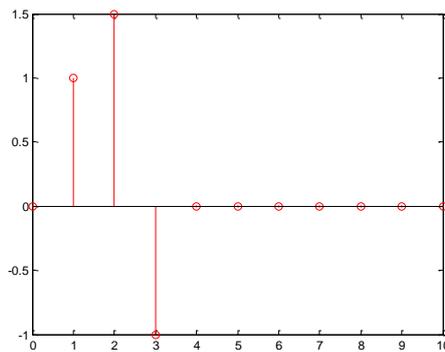
(b)

Dengan mengetahui karakteristik dari sistem melalui respon impuls sistem tersebut, maka selanjutnya kita dapat mengetahui output dari sistem tersebut apabila sistem tersebut kita berikan sembarang input. Sebagai contoh kita akan mencari output sistem dengan memberikan masukan seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.12c. Masukan ini terdiri dari 3 komponen, yaitu pada saat 0 bernilai 1, pada saat 1 bernilai 0.5 dan pada saat 2 bernilai 1.



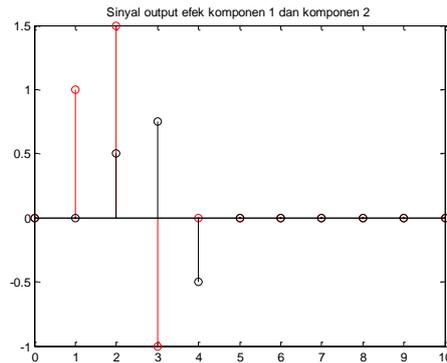
(c)

Kita dapat mencari output dari sistem untuk input seperti gambar 2.12 c dengan cara menggabungkan hasil dari konvolusi setiap komponen input tersebut. Untuk komponen 1 akan menghasilkan output seperti yang terlihat pada gambar 2.12d berikut ini. Kita dapat perhatikan bahwa input komponen 1 akan menghasilkan 3 sinyal output sesuai dengan karakteristik respon impuls yang telah kita dapatkan.



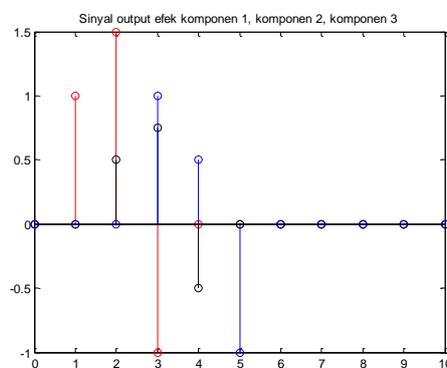
(d)

Selanjutnya kita dapat mencari output dari input komponen ke-dua, dimana outputnya ditunjukkan sebagai 3 komponen sinyal (berwarna hitam) pada gambar 2.12e berikut.



(e)

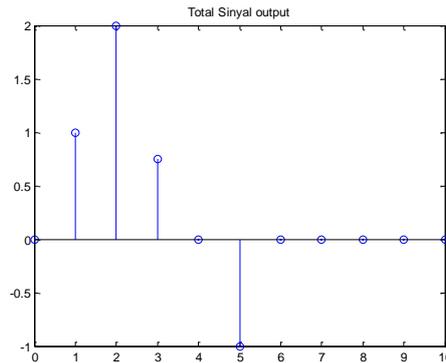
Demikian juga selanjutnya, kita dapat mencari output dari input komponen ke-tiga, dimana outputnya ditunjukkan sebagai 3 komponen sinyal (berwarna biru) pada gambar 2.12f berikut.



(f)

Setelah kita mendapatkan output dari ketiga komponen sinyal input maka berikutnya dengan mudah kita akan mendapatkan output sistem sebagai penggabungan dari output dari ketiga komponen sinyal input tersebut. Masing-masing sinyal pada

waktu yang sama pada gambar 2.12f akan dijumlahkan sehingga menghasilkan output seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.12g

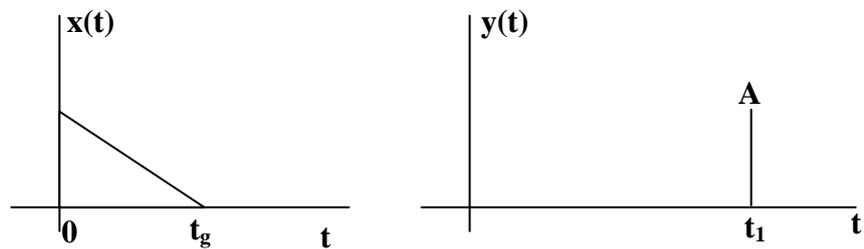


(g)

Gambar 2.12 (a) Sinyal Impuls (b) Sinyal Respon Impuls (d) Sinyal output dari pengaruh input komponen ke-1 (e) Sinyal output dari pengaruh input komponen ke-2 (f) Sinyal output dari pengaruh input komponen ke-3 (g) Total Sinyal Output

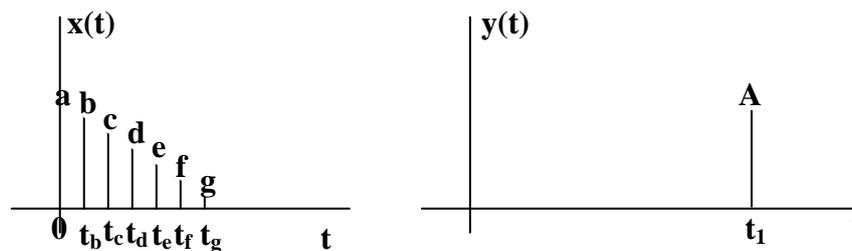
2.4.2 Contoh Konvolusi dalam Sistem Komunikasi

Konvolusi yang akan banyak kita gunakan dalam buku ini nantinya adalah konvolusi antara suatu bentuk sinyal kontinu dengan sebuah sinyal impuls, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.13 berikut:



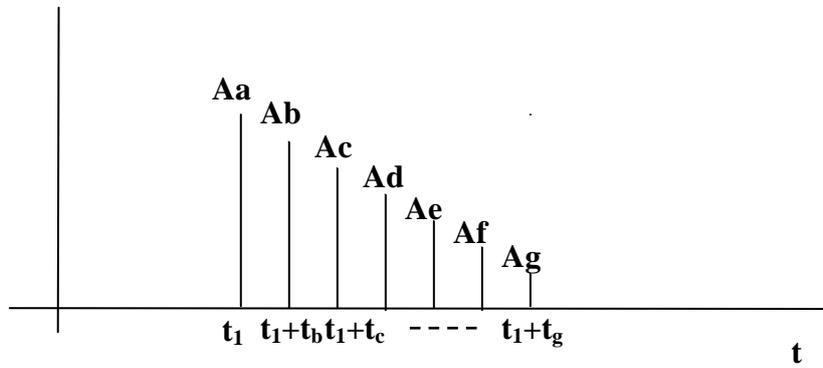
Gambar 2.13 Contoh Konvolusi

Konvolusi antara kedua sinyal diatas dapat kita cari hasilnya dengan membuat asumsi bahwa sinyal $y(t)$ merupakan respons impuls dari sebuah sistem tertentu. Dengan asumsi ini kita dapat mengatakan bahwa karakteristik dari sistem tersebut adalah menggeser sinyal input sejauh t_1 dan mengalikannya dengan nilai A . Selanjutnya kita menyederhanakan masalah dengan mengubah $x(t)$ menjadi suatu sinyal yang diskrit seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.14 berikut. Dengan mengetahui karakteristik dari sistem tersebut dan mengasumsikan sinyal $x(t)$ menjadi diskrit maka kita dapat menghasilkan konvolusi antara sinyal $x(t)$ dan sinyal $y(t)$ dengan cara berikut:



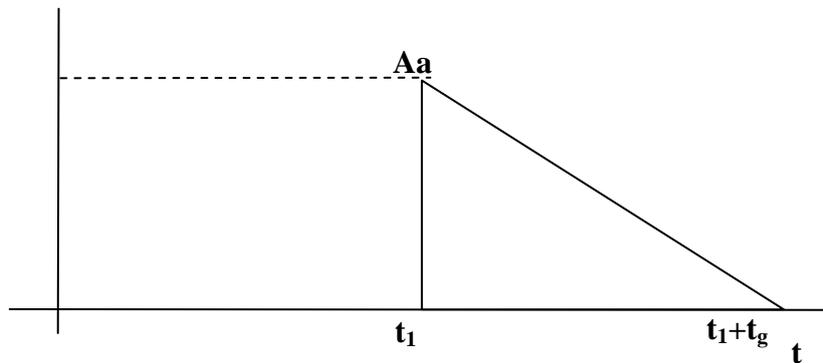
Gambar 2.14 Operasi Konvolusi dengan mengasumsikan $x(t)$ diskrit

Setiap komponen sinyal $x(t)$ dikonvolusikan dengan sinyal $y(t)$ pada gambar 2.14 akan menghasilkan masing-masingnya satu komponen dengan letak pada $t_1, t_1+t_b, t_1+t_c, t_1+t_d, t_1+t_e, t_1+t_f, t_1+t_g$ dengan nilai amplituda aA, bA, cA, dA, eA, fA dan gA , seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.15 berikut ini:



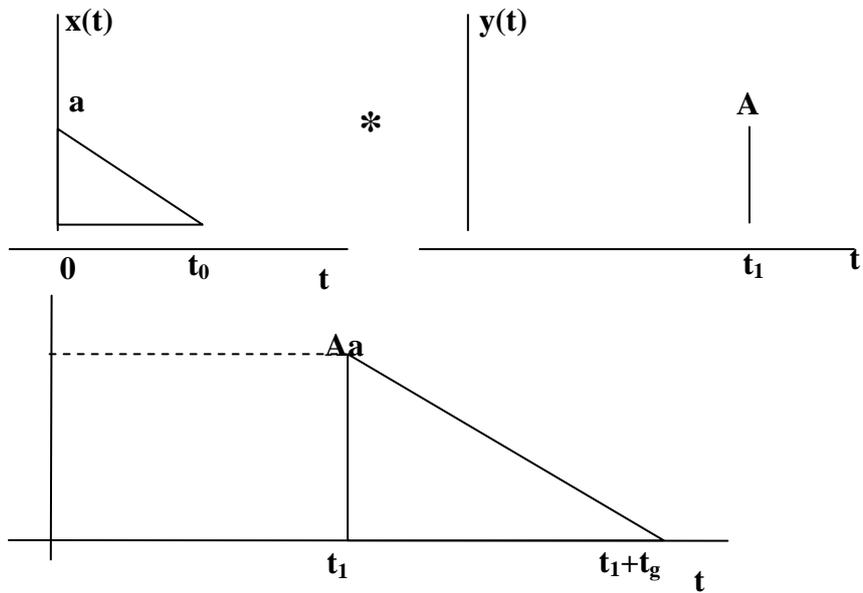
Gambar 2.15 Hasil Konvolusi

Hasil konvolusi pada gambar 2.15 dapat kembali kita ubah menjadi sinyal kontinyu, sehingga menjadi gambar 2.16 sebagai berikut.



Gambar 2.16 Hasil Konvolusi yang telah menjadi Kontinyu

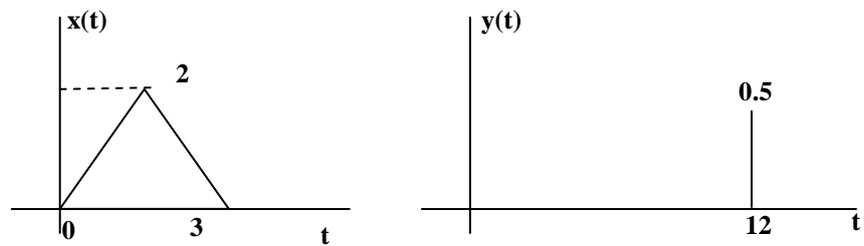
Dari contoh ini, kita dapat mengambil kesimpulan bahwa konvolusi antara sebuah sinyal kontinyu dengan sebuah komponen pulsa pada t_1 akan memberikan hasil berupa sinyal kontinyu tadi yang telah digeser sejauh t_1 , seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.17 berikut ini.



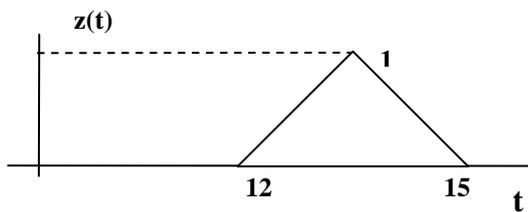
Gambar 2.17 Kesimpulan Hasil Konvolusi

Latihan

Tentukan konvolusi antara 2 sinyal berikut ini

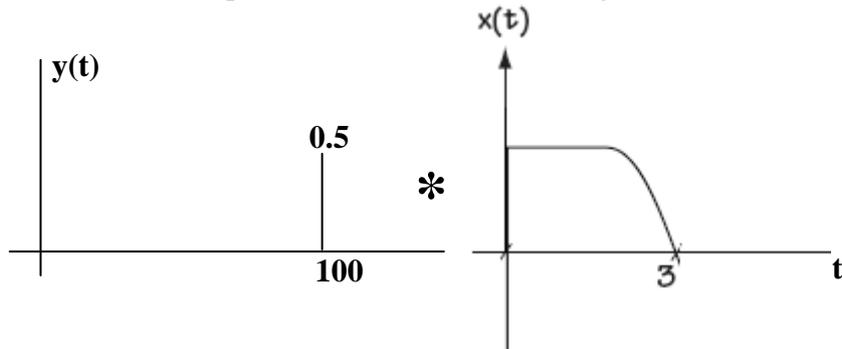


Jawab:



Latihan

1. Buatlah gelombang sinus dengan frekuensi 10 dan amplituda maksimum 2.5 dan fasa $\pi/8$ radian dalam rentang waktu 0.2 detik!
2. Bentuklah kelompok dan diskusikan soalan berikut:
Ubah persamaan sinyal $x(t)$ dalam domain frekuensi menggunakan transformasi Fourier:
 - Kelompok I : $x(t) = \sin(2\pi ft)$ untuk $-T/2 < t < T/2$ dan 0 untuk t lainnya
 - Kelompok II : $x(t) = 1$ untuk $-T/2 < t < T/2$ dan 0 untuk t lainnya
3. Tentukanlah proses konvolusi antara 2 sinyal berikut



**BAB
TIGA**

**SISTEM KOMUNIKASI ANALOG
Modulasi AM**

Seperti yang sudah dijelaskan secara singkat pada Bab I, bahwa sistem komunikasi analog adalah sebuah sistem komunikasi dimana sinyal yang diproses di bagian pengirim dan di penerima adalah berupa sinyal analog. Meskipun sinyal analog memiliki berbagai kekurangan dibandingkan sinyal digital, akan tetapi pada beberapa aplikasi sistem komunikasi digital tidak mudah digantikan oleh sistem komunikasi analog. Sebagai contoh adalah pada aplikasi siaran radio *broadcast* seperti radio FM.

Perangkat penerima radio FM adalah perangkat analog yang memproses sinyal analog. Hampir di setiap rumah masyarakat terdapat sebuah radio FM. Stasiun radio swasta tidak dapat mengubah perangkat pengirim radionya dari FM yang analog menjadi sistem komunikasi digital. Hal ini dikarenakan jika sebuah stasiun mengirim siaran menggunakan sistem komunikasi digital maka sebagian besar masyarakat yang masih memiliki perangkat radio FM analog tidak akan dapat menerima siaran stasiun tersebut. Sehingga hal ini akan

berakibat kepada kerugian bagi pihak stasiun radio swasta karena siarannya tidak sampai kepada masyarakat.

Karena sistem komunikasi analog ini masih banyak digunakan (meskipun secara teknologi sudah cukup lama), maka materi pelajaran sistem komunikasi analog ini masih perlu untuk dipelajari oleh seorang ahli telekomunikasi. Itulah alasannya kenapa anda masih perlu belajar materi ini, meskipun mungkin anda merasa kapasitas intelegensi anda terlalu tinggi untuk mempelajari hal-hal sederhana dan ketinggalan zaman berikut ini.

3.1 Diagram Sistem Komunikasi Analog

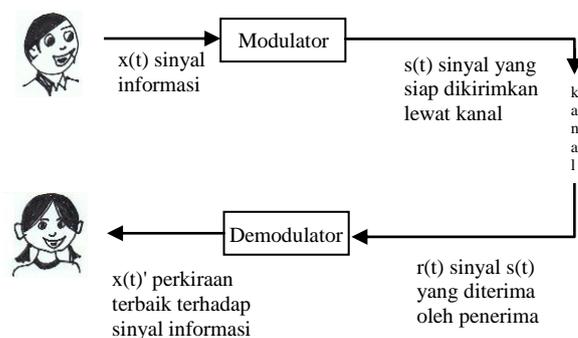
Sebuah sistem komunikasi analog secara umum terdiri dari sebuah modulator di bagian pengirim dan sebuah demodulator di bagian penerima seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.1 berikut. Pada gambar 3.1, sinyal informasi berupa suara manusia memodulasi sinyal pembawa di modulator. Sinyal keluaran modulator (sinyal termodulasi) kemudian dikirimkan lewat kanal transmisi.

Kanal transmisi bisa berupa gelombang radio, serat optik, kabel tembaga atau kabel koaksial, tergantung dari aplikasi yang menggunakannya. Selama proses perjalanan sinyal dari pengirim ke penerima, sinyal akan mengalami berbagai gangguan yang akan menurunkan kualitas sinyal tersebut. Gangguan ini dapat berupa derau, lintasan jamak, dan lain-lain (kita akan bahas materi khusus mengenai gangguan-gangguan ini secara lebih rinci ketika jika anda mengambil kuliah master).

Pada bagian penerima, sinyal kemudian didemodulasi untuk mengembalikan sinyal ke dalam bentuk asli sinyal informasi, tentunya kita tidak akan mendapatkan sinyal informasi yang sama dengan sinyal informasi asli yang dikirim. Hal ini disebabkan sinyal tersebut telah mengalami berbagai gangguan sepanjang perjalannya sehingga telah mengalami

kerusakan. Tetapi meskipun demikian kita bisa mendapatkan sinyal yang mirip dengan sinyal informasi aslinya.

Sebagai analoginya coba anda bayangkan suami/istri anda yang pagi-pagi berangkat dari Pekanbaru ke Padang menggunakan mobil angkutan travel. Pada pagi hari sebelum berangkat suami/istri anda tersebut nampak rapi dan necis. Tetapi karena dalam perjalanan mengalami goyangan, angin, asap rokok dan cuaca yang panas, maka setibanya di Padang suami/istri anda tidaklah serapi dan senecis ketika dia berangkat. (tapi meskipun begitu, dia masih mirip istri/suami anda? Dan anda masih mengenalinya bukan?)



Gambar 3.1 Diagram Sistem Komunikasi Analog

3.2 Modulasi

Pada bagian pengirim, sinyal informasi yang berupa suara manusia masih berbentuk sinyal *baseband*. Sinyal *baseband* adalah sinyal yang masih berada pada pita frekuensi aslinya, seperti suara manusia pada frekuensi 20-20.000 Hz. Untuk bisa dikirimkan maka sinyal *baseband* tersebut harus dibawa ke frekuensi yang lebih tinggi. Tugas modulator disini adalah menarik frekuensi sinyal *baseband* menjadi sinyal yang berpusat pada frekuensi yang jauh lebih tinggi dari frekuensi *baseband*, sebut saja w_c .

Terkadang di beberapa buku pegangan disebutkan juga bahwa modulasi berfungsi untuk menyesuaikan sifat sinyal informasi yang dikirim dengan kanal transmisinya sehingga akan meminimalisir gangguan yang terjadi selama sinyal tersebut ditransmisikan.

Terdapat beberapa kegunaan dari modulasi yang diantaranya adalah:

a. Mengurangi panjang antena

Untuk mendapatkan pemancaran dan penerimaan yang paling baik, antena pemancar dan penerima harus memiliki ukuran panjang sebanding dengan seperempat panjang gelombang dari frekuensi yang sedang digunakan. Sebagai contoh, jika suatu stasiun pemancar bekerja pada frekuensi 100 MHz, maka kita akan memiliki panjang gelombang sepanjang $3 \cdot 10^8 / 10^8 = 3$ m, sehingga kita memerlukan antena vertikal sepanjang 75 cm. Anda bisa bayangkan jika kita mengirimkan sinyal tanpa dimodulasi pada frekuensi *baseband* misalnya 1 KHz. Bisakah anda hitung seberapa panjang antenanya?

b. Multipleksing

Jika terdapat lebih dari satu sinyal dipancarkan menggunakan satu kanal, maka modulasi digunakan untuk meletakkan masing-masing spektrum sinyal-sinyal tersebut ke lokasi spektrum yang berlainan sehingga memungkinkan penerima untuk hanya memilih sinyal yang diinginkan. Teknik ini dinamakan multipleksing frekuensi atau yang biasa diistilahkan sebagai FDM (*Frequency Division Multiplexing*). Sebagai contoh, pita frekuensi untuk radio AM adalah 530-1600 Hz. Jika dianggap sinyal AM memiliki bandwidth sebesar 10 KHz, maka banyaknya stasiun yang dapat menggunakan pita frekuensi ini pada saat yang bersamaan adalah sebanyak $(1600-530)/10 = 107$ stasiun.

c. Keperluan perangkat

Unjuk kerja suatu peralatan pengolah sinyal, misalnya *filter* atau *amplifier* dibuat mempunyai daerah frekuensi

tertentu. Sebagai contoh pada frekuensi rendah misalnya 10 KHz, maka akan sulit untuk mendapatkan kumparan dengan kualitas (Q) yang tinggi, tetapi tidak pada 500 KHz. Dalam hal ini maka modulasi dapat digunakan untuk memindahkan suatu sinyal ke suatu lokasi di dalam domain frekuensi dimana pada lokasi frekuensi tersebut perancangan alat terbaik bisa dilakukan.

d. Kerahasiaan Komunikasi

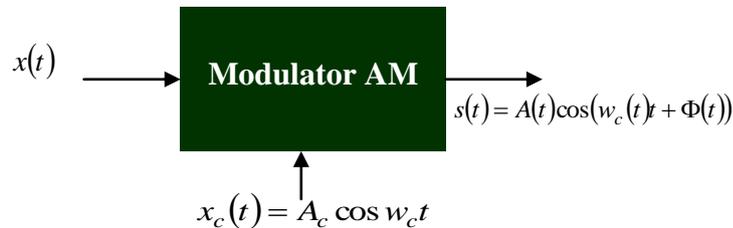
Modulasi dapat juga digunakan untuk menjaga kerahasiaan suatu informasi. Beberapa tahun lalu SSB digunakan untuk tujuan ini, tetapi dewasa ini digunakan sistem digital, misalnya dengan mengacak atau memanfaatkan teknik *spread spectrum*.

3.3 Bagan Sistem Modulasi

Jika kita anggap sinyal informasi sebagai $x(t)$ dan sinyal hasil modulasi sebagai $s(t)$, dengan persamaan umum sebagai berikut:

$$s(t) = A(t)\cos(w_c(t)t + \Phi(t)) \quad (3.1)$$

maka modulasi adalah proses menumpangkan $x(t)$ ke dalam sinyal $s(t)$. Jika $x(t)$ ditumpangkan pada $A(t)$ maka modulasinya disebut Amplituda Modulation (AM). Jika $x(t)$ ditumpangkan pada $w_c(t)$ maka modulasinya disebut Frequency Modulation (FM). Jika $x(t)$ ditumpangkan pada $\Phi(t)$ maka modulasinya disebut Phase Modulation (PM). Khusus dalam buku ini kita hanya akan membahas AM dan FM. Bagan modulator ditunjukkan pada gambar 3.2 berikut:



Gambar 3.2 Bagan Modulator

3.4 Modulasi AM

Ide dasar dari modulasi AM adalah menumpangkan sinyal informasi $x(t)$ ke dalam frekuensi sinyal yang dikirim $s(t)$. Terdapat beberapa varian modulasi AM diantaranya adalah AM-DSB-FC, AM-DSB-SC, dan AM-SSC. Modulasi amplituda termasuk suatu model modulasi kualitas sedang dengan biaya yang relatif murah.

3.4.1 AM-Double Sided Band-Full Carrier (AM-DSB-FC)

Persamaan sinyal AM secara umum adalah sebagai berikut:

$$s(t) = A_c (1 + mx(t)) \cos w_c t \quad (3.2)$$

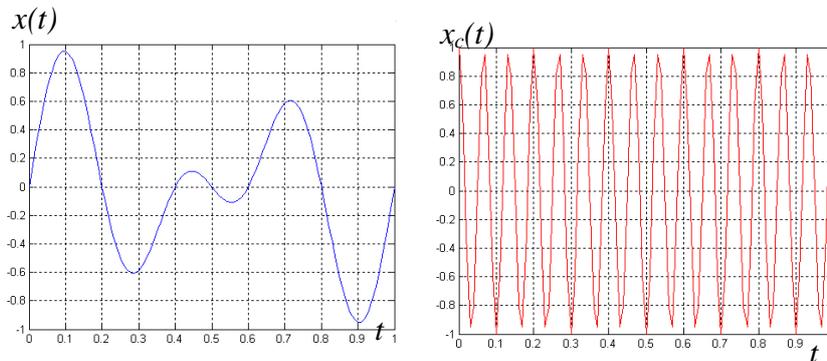
- $m = \frac{A_x}{A_c}$ memiliki nilai antara $[0,1]$ = indeks modulasi
- $x(t)$ adalah sinyal informasi disebut juga sinyal pemodulasi
- A_c adalah amplituda maksimum sinyal pembawa
- A_x adalah amplituda maksimum sinyal pemodulasi
- $s(t)$ adalah sinyal hasil modulasi disebut juga sinyal termodulasi
- $x_c(t) = A_c \cos w_c t$; adalah sinyal pembawa dimana nilai w_c (frekuensi sudut sinyal pembawa) jauh lebih tinggi dibandingkan frekuensi tertinggi sinyal pemodulasi.

3.4.2 Persamaan sinyal AM-DSB-FC dalam domain waktu

Sinyal AM dalam domain waktu berguna untuk menunjukkan proses modulasi AM. Latihan berikut memberikan contoh gambar sinyal AM yang menunjukkan proses modulasi sinyal AM.

Latihan

Jika diketahui sinyal informasi sebagai sinyal pemodulasi seperti pada gambar 3.3a dan sinyal pembawa seperti gambar 3.3 b berikut



Gambar 3.3 (a) Contoh Sinyal Informasi $x(t)$ (b) Sinyal pembawa

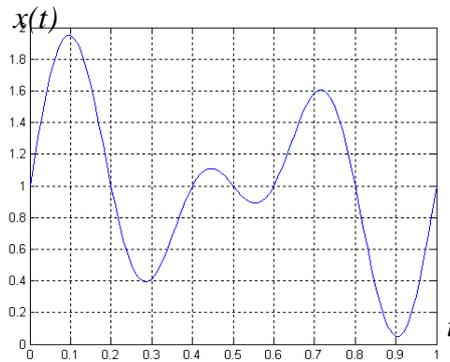
Latihan

Gambarkanlah sinyal termodulasi $s(t)$, jika diketahui nilai $m=1$!

Jawab:

Langkah pertama: gambarkanlah sinyal $mx(t)$, karena nilai m adalah 1 maka gambar sinyal $mx(t)$ akan sama dengan gambar $x(t)$

Langkah kedua: Gambarkan sinyal $1+mx(t)$. Kita dapat menggambarkan sinyal ini dengan cara menambahkan nilai amplituda $mx(t)$ dengan 1. Sehingga gambar yang didapat adalah gambar yang memiliki bentuk sama dengan gambar 3.3 tetapi memiliki amplituda yang telah ditambah 1 atau dengan kata lain gambar kita dapatkan dengan menggeser gambar 3.3 ke atas sejauh 1 skala, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.4 berikut.



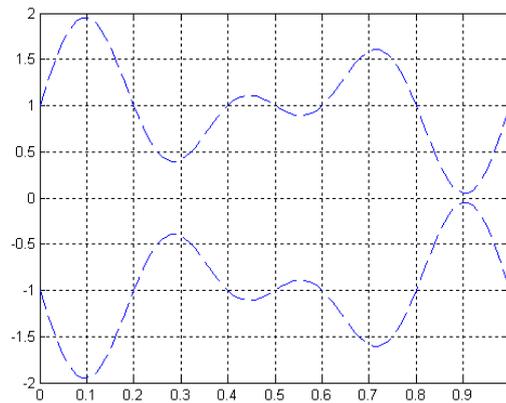
Gambar 3.4 Sinyal $1+mx(t)$

Langkah ketiga: Gambarkan sinyal $A_c(1+mx(t))$. Pertama kali kita perlu untuk mencari nilai A_c menggunakan hubungan berikut:

$$m = \frac{A_x}{A_c} \left\langle \begin{array}{c} \leftarrow \\ \rightarrow \end{array} \right\rangle 1 = \frac{1}{A_c} \left\langle \begin{array}{c} \leftarrow \\ \rightarrow \end{array} \right\rangle A_c = 1$$

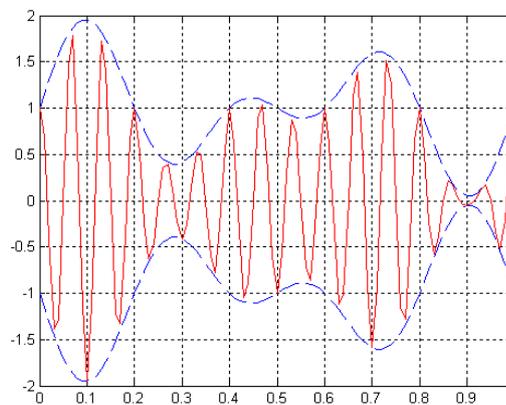
Gambar sinyal $A_c(1+mx(t))$ didapatkan dengan cara mengalikan sinyal $(1+mx(t))$ pada gambar 3.4 dengan $A_c = 1$, sehingga didapatkan sinyal yang sama dengan gambar 3.4.

Langkah keempat: Gambarkan sinyal $-A_c(1+mx(t))$, gambarnya akan sama dengan gambar sinyal $A_c(1+mx(t))$ yang dibalik, seperti ditunjukkan pada gambar 3.5 berikut



Gambar 3.5 Sinyal $(1+mx(t))$ dan $-(1+mx(t))$

Langkah kelima: Gambarkan sinyal $\cos w_c t$ didalam diantara gambar sinyal $A_c(1+mx(t))$ dan $-A_c(1+mx(t))$, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.6 berikut ini:



Gambar 3.6 Sinyal $1+mx(t)$

Nah, anda sudah menggambarkan sinyal AM-DSB-FC, mudah bukan?

3.4.3 Pengaruh indeks modulasi (m)

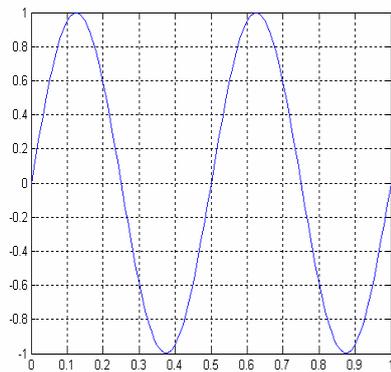
Seperti telah dijelaskan pada sub bab 3.3.1, bahwa indeks modulasi adalah perbandingan antara amplituda maksimum sinyal pemodulasi dengan amplituda maksimum dari sinyal pembawa, yang dirumuskan dengan persamaan 3.3 berikut:

$$m = \frac{A_x}{A_c} \quad (3.3)$$

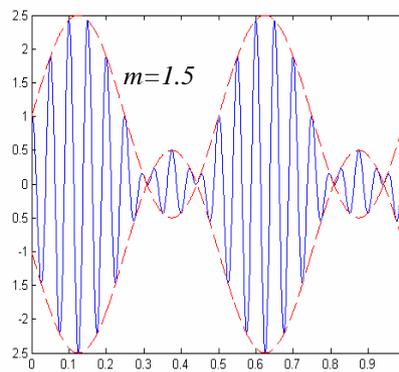
Indeks modulasi selalu memiliki nilai antara 0 dan 1. Indeks modulasi akan berpengaruh kepada bagus dan tidaknya sebuah proses modulasi. Semakin tinggi indeks modulasi maka akan semakin bagus proses modulasi tersebut. Tapi indeks modulasi tidak boleh lebih dari 1 karena ini akan mengakibatkan distorsi pada sinyal AM. Kenapa bisa distorsi? Mari kita simak contoh berikut.

Gambar 3.7a menunjukkan sebuah sinyal pemodulasi (disini kita buat sebagai contoh adalah sinyal sinus, anda pasti tahu alasannya kan?). Gambar 3.7b menunjukkan sinyal termodulasi dengan indeks modulasi 1. Gambar 3.7c menunjukkan sinyal termodulasi dengan indeks modulasi 0.5 dan gambar 3.7d menunjukkan sinyal termodulasi dengan indeks modulasi 1.5. Coba anda perhatikan gambar 3.7d. Pada gambar 3.7d terlihat bahwa selubung sinyal termodulasi tidak lagi memberikan bentuk yang merepresentasikan sinyal informasi (pemodulasi), sehingga apabila dilakukan demodulasi terhadap sinyal ini maka akan dihasilkan sinyal informasi yang berbeda dengan sinyal informasi aslinya.

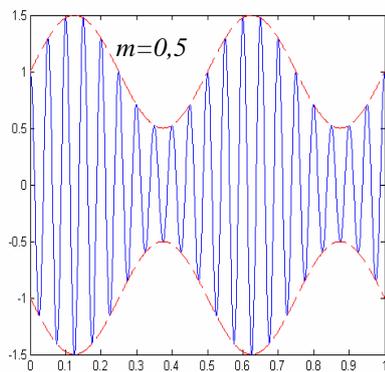
Sinyal $x(t) = \sin(2\pi 2t)$



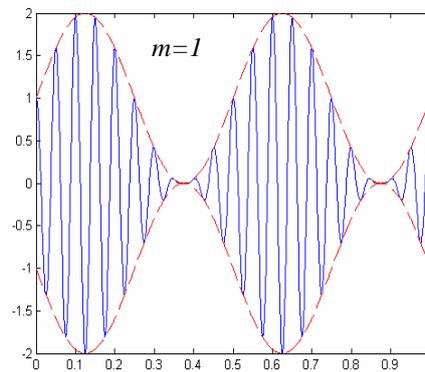
a



b



c



d

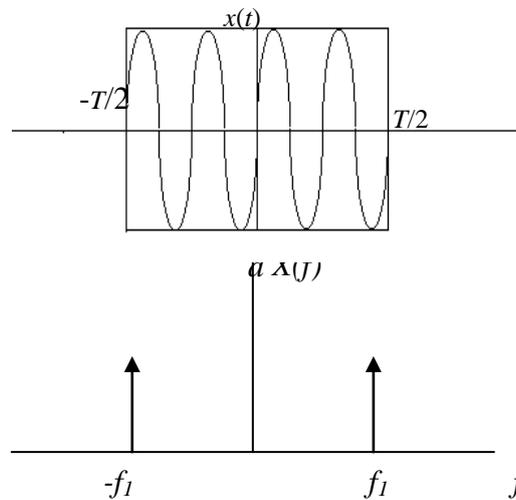
Gambar 3.7 (a) Gambar sinyal informasi (b) sinyal termodulasi dengan $m=1.5$ (c) sinyal termodulasi dengan $m=0.5$ (d) sinyal termodulasi dengan $m=1$

3.4.4 Sinyal AM-DSB-FC dalam domain frekuensi

Sekarang kita akan melihat sinyal AM-DSB-FC dalam domain frekuensi. Seperti yang telah kita bahas pada awal bab 3 ini, bahwa kita sangat memerlukan informasi bentuk sinyal dalam domain frekuensi untuk mengetahui seberapa lebar bandwidth sinyal tersebut. Untuk melakukan transformasi sinyal dalam domain waktu ke domain frekuensi, maka kita memerlukan bantuan transformasi Fourier.

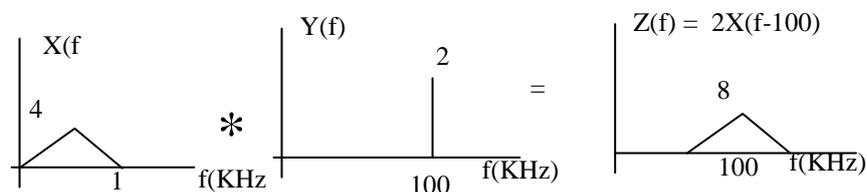
Sekarang sebelum kita melihat bagaimana proses transformasi Fourier untuk sinyal AM-DSB-FC, kita sebaiknya mengingat kembali hasil-hasil yang telah kita dapatkan dan sepakati pada Bab II sebagai berikut:

Transformasi Fourier sinyal $x(t) = \cos(2\pi f_1 t)$ dalam selang waktu $-T/2 < t < T/2$ dimana $T \rightarrow \infty$ adalah $X(f) = \frac{1}{2} \delta(f-f_1) + \frac{1}{2} \delta(f+f_1)$ yang memiliki gambar seperti gambar 3.8 a dan b berikut:



Gambar 3.8 (a) Gambar sinyal $x(t) = \cos(2\pi f_1 t)$ (b) sinyal $X(f) = \frac{1}{2} \delta(f-f_1) + \frac{1}{2} \delta(f+f_1)$

Selanjutnya kita juga perlu mengingat bagaimana proses konvolusi antara dua buah sinyal dilakukan. Disini kita tidak akan mengulang penurunan matematika dari proses konvolusi, akan tetapi kita akan lebih membahas kepada bagaimana proses konvolusi dilakukan secara gambar dan bagaimana hasilnya. Coba anda perhatikan gambar 3.9 berikut ini:

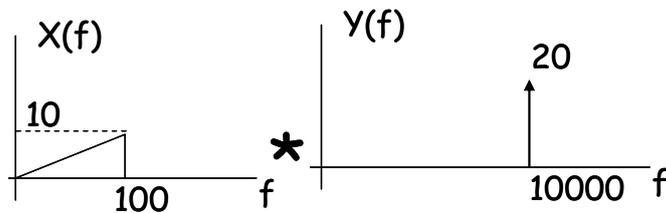


Gambar 3.9 Contoh konvolusi dua sinyal dan hasilnya

Jika anda perhatikan dengan seksama maka kita akan dapat menyimpulkan bahwa konvolusi antara sinyal $X(f)$ yang memiliki spektrum menyebar (memiliki banyak komponen frekuensi dari 0 s/d 1 KHz) dan $Y(f)$ yang memiliki satu komponen frekuensi (100 KHz), akan menghasilkan suatu sinyal $Z(f)$ yang bentuk spektrumnya mirip dengan spektrum $X(f)$ yang telah digeser ke kanan sejauh komponen frekuensi $Y(f)$ (100 KHz) dan memiliki amplituda maksimum yang bernilai perkalian antara amplituda maksimum $X(f)$ dan amplituda maksimum $Y(f)$.

Pada gambar 3.9 diatas kita menggunakan simbol $Z(f) = 2X(f-100)$ yang dapat kita baca sebagai “ Sinyal $Z(f)$ adalah sinyal $X(f)$ yang digeser ke kanan 100 dan sinyal $Z(f)$ adalah sinyal $X(f)$ yang amplitudanya dikali 2.

Mudah bukan? Sekarang coba anda cari hasil konvolusi untuk dua sinyal pada gambar 3.10 berikut dan Gambarkan hasilnya!



Gambar 3.10 Dua sinyal yang dikonvolusi dalam fomain frekuensi

Nah, sekarang kita sudah memiliki modal yang cukup untuk mempelajari lebih jauh transformasi sinyal AM-DSB-FC ke dalam domain frekuensi, yaitu modal kesimpulan tentang hasil transformasi fourier sinyal cosinus dan modal kesimpulan tentang konvolusi dua buah sinyal. Selanjutnya mari kita bahas bagaimana domain frekuensi sinyal AM-DSB-FC didapatkan.

Kita akan memulainya dengan menuliskan persamaan sinyal AM-DSB-FC dalam domain waktu sebagai berikut:

$s(t) = A_c(1 + mx(t))\cos w_c t$; persamaan ini dapat dijabarkan lagi menjadi persamaan berikut:

$$s(t) = A_c \cos w_c t + A_c mx(t)\cos w_c t \quad (3.4)$$

Jika persamaan 3.4 kita tranformasi Fourier-kan maka $s(t)$ akan menjadi $S(f)$, $\cos w_c t$ akan menjadi $\frac{1}{2}\delta(f-f_c) + \frac{1}{2}\delta(f+f_c)$, dan $x(t)$ akan menjadi $X(f)$, sehingga persamaan 3.4 dapat dituliskan dalam bentuk persamaan 3.5 berikut:

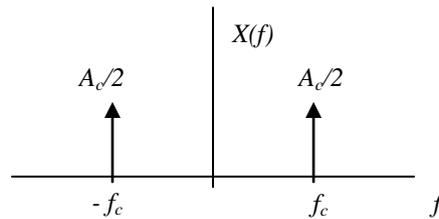
$$S(f) = \left(\frac{A_c}{2} (\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)) \right) + \left(A_c mX(f) * \left(\frac{1}{2}\delta(f - f_c) + \frac{1}{2}\delta(f + f_c) \right) \right) \quad (3.5)$$

Kita perhatikan bahwa komponen $A_c mx(t)\cos w_c t$ berubah menjadi komponen $\left(A_c mX(f) * \left(\frac{1}{2}\delta(f - f_c) + \frac{1}{2}\delta(f + f_c) \right) \right)$, disini kita lihat bahwa tanda kali pada domain waktu telah berubah

menjadi konvolusi pada domain frekuensi. Ya.. Salah satu karakteristik hubungan domain waktu dan domain frekuensi adalah perkalian dalam domain waktu adalah sama dengan konvolusi dalam domain frekuensi atau sebaliknya.

Nah sekarang kita sudah dapat menggambarkan sinyal $S(f)$ dalam domain frekuensi seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.11 berikut. Pertama kali kita gambarkan komponen frekuensi

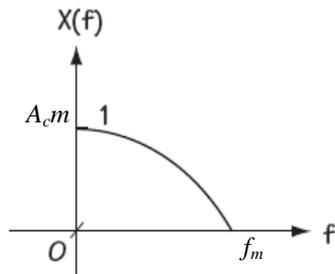
$\left(\left(\frac{A_c}{2} \delta(f - f_c) + \frac{A_c}{2} \delta(f + f_c) \right) \right)$ dari persamaan 3.5. Dari persamaan ini kita ketahui bahwa komponen frekuensi ini memiliki nilai di f_c dan $-f_c$ dengan nilai $A_c/2$, seperti yang ditunjukkan oleh gambar 3.11 berikut.



Gambar 3.11 Gambar komponen frekuensi

$$\left(\left(\frac{A_c}{2} \delta(f - f_c) + \frac{A_c}{2} \delta(f + f_c) \right) \right)$$

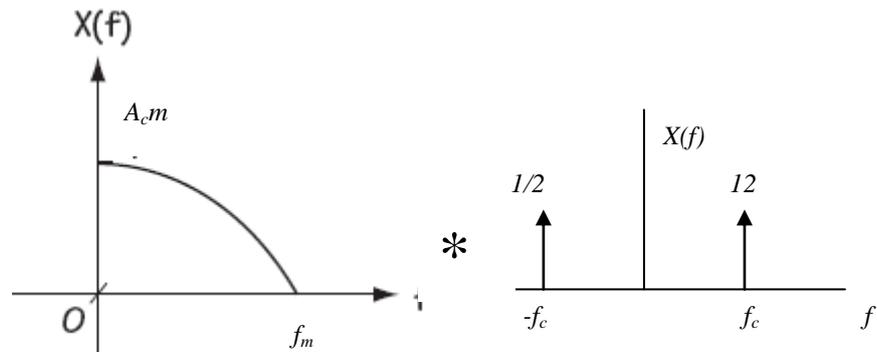
Selanjutnya kita gambar komponen frekuensi $(A_c m X(f))$ seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.12 berikut:



Gambar 3.12 Bentuk komponen frekuensi $X(f)$

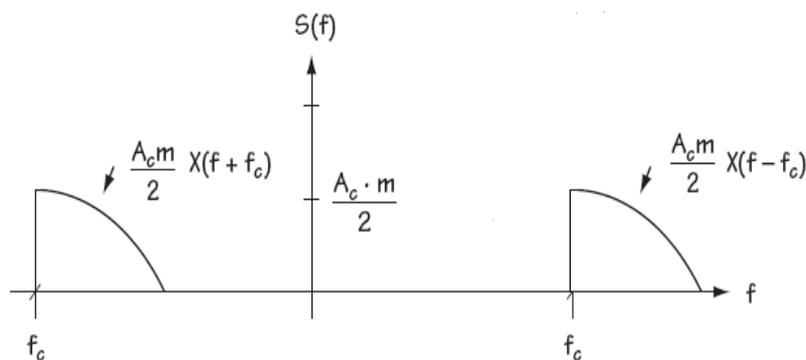
Gambar spektrum sinyal informasi ($A_c m X(f)$) pada gambar 3.12 diatas adalah dalam bentuk asumsi dengan frekuensi dari 0 sampai f_m dan nilai amplituda sebesar $A_c m$. Gambar ($A_c m X(f)$) digambarkan dalam bentuk asumsi ini, didasarkan karena sinyal informasi asli akan memiliki bentuk yang sembarangan tergantung dari bentuk persamaan sinyal informasi pada saat itu.

Selanjutnya kita menggambarkan komponen sinyal $\left(A_c m X(f) * \left(\frac{1}{2} \delta(f - f_c) + \frac{1}{2} \delta(f + f_c) \right) \right)$ dari persamaan 3.5. Kita perhatikan bahwa komponen sinyal ini merupakan hasil konvolusi dari komponen ($A_c m X(f)$) dengan $\left(\left(\frac{1}{2} \delta(f - f_c) + \frac{1}{2} \delta(f + f_c) \right) \right)$. Disini kita akan melakukan konvolusi terhadap dua komponen tersebut dengan menggunakan metode gambar seperti yang telah kita bahas pada contoh soal konvolusi pada gambar 3.9.



Gambar 3.13 Komponen frekuensi ($A_c m X(f)$) dan komponen frekuensi $\left(\left(\frac{1}{2} \delta(f - f_c) + \frac{1}{2} \delta(f + f_c) \right) \right)$

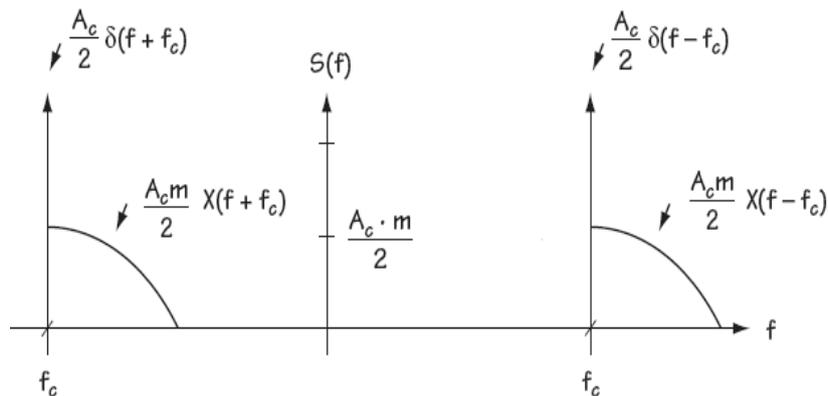
Gambar 3.13 diatas menggambarkan dua komponen frekuensi yang akan kita lakukan operasi konvolusi terhadap keduanya. Berdasarkan atas operasi konvolusi pada gambar 3.9 maka kita dapat menghasilkan gambar hasil konvolusinya berupa satu buah komponen frekuensi ($A_c m X(f)$) yang digeser sebesar f_c ke kanan dan satu buah komponen frekuensi ($A_c m X(f)$) yang digeser sebesar f_c ke kiri, dengan besar amplituda sebesar $\frac{A_c m}{2}$, yang digambarkan seperti gambar 3.13 berikut ini.



Gambar 3.14. Komponen frekuensi hasil konvolusi

$$\left(A_c m X(f) * \left(\frac{1}{2} \delta(f - f_c) + \frac{1}{2} \delta(f + f_c) \right) \right)$$

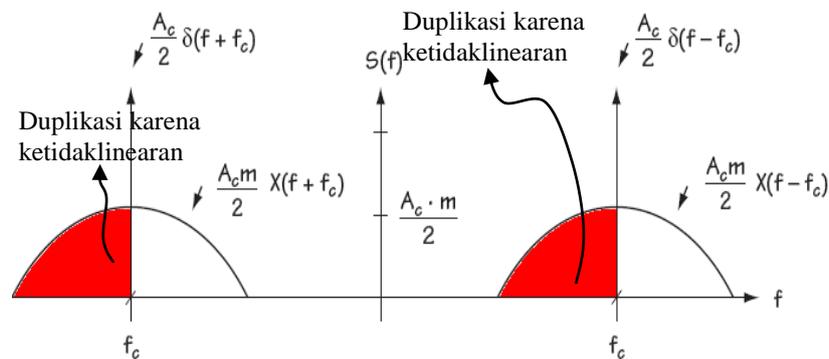
Nah, kita telah menggambarkan seluruh komponen frekuensi $S(f)$, Sekarang kita tinggal menggabungkan seluruh komponen frekuensi $S(f)$ yang telah kita gambar. Selanjutnya dengan menggambarkan komponen frekuensi pada gambar 3.11 dan 3.14 dalam satu gambar maka kita telah mendapatkan komponen frekuensi $S(f)$ keseluruhan atau komponen frekuensi AM-DSB-FC, yang ditunjukkan pada gambar 3.15 berikut:



Gambar 3.15 Keseluruhan komponen frekuensi S(f)

Apakah kita telah benar-benar menggambarkan spektrum frekuensi AM-DSB-FC secara keseluruhan ?. Secara matematis, jawabannya adalah iya. Tetapi secara aplikasi ternyata tidak. Masih terdapat komponen frekuensi lainnya yang belum kita gambarkan. Perangkat elektronika AM-DSB-FC bukanlah perangkat yang linear, tetapi merupakan perangkat elektronika yang non linear. Hasil dari ketidaklinearan ini adalah munculnya komponen frekuensi lain

yang merupakan cerminan dari komponen frekuensi yang telah kita dapatkan pada gambar 3.15. Jadi kita harus menambahkan komponen frekuensi cerminan tersebut ke dalam spektrum frekuensi sinyal $S(f)$ pada gambar 3.15 yang menghasilkan spektrum sinyal $S(f)$ seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.16 berikut ini. Komponen frekuensi yang berwarna merah pada gambar 3.16 merupakan komponen frekuensi yang muncul karena ketidaklinearan perangkat elektronika modulator AM-DSB-FC.

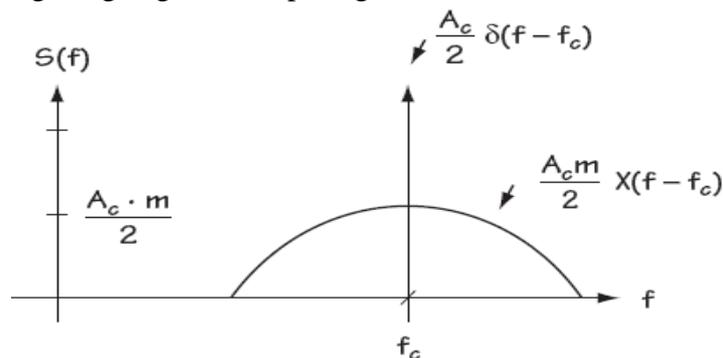


Gambar 3.16 Spektrum frekuensi $S(f)$ yang lebih lengkap

Ahh, Akhirnya setelah melalui perjalanan dan perjuangan yang cukup panjang kita dapat menggambarkan spektrum sinyal AM-DSB-FC...Mungkin kita butuh waktu istirahat untuk meregangkan otot-otot syaraf otak kiri kita, dan bermain game untuk memberi suplemen kepada otot syaraf kanan kita, Tapi hei...,tunggu dulu..., sepertinya kita melihat keganjilan disini. Coba lihat kembali secara seksama gambar 3.16 diatas. Lihat kita memiliki komponen frekuensi yang negatif, yang terletak disebelah kiri sumbu tegak $S(f)$. Apakah mungkin ada frekuensi yang negatif?. Aduhh... Apalagi ini, otakku sudah terasa pecah untuk mendapatkan spektrum gambar 3.16 dengan segala tetek bengek konvolusi dan transformasi Fourier, kini

dengan mudah kamu menyalahkan hasil yang sudah saya buat, tapi hmmm sebagai seorang engineer tentu kita siap menerima setiap kritikan.

Solusinya sangat mudah dan sangat filosofis. Jawabannya adalah komponen frekuensi negatif kita hasilkan karena dalam penurunan matematika transformasi Fourier kita menggunakan bilangan riil (yang terdiri dari bilangan negatif dan positif), karenanya tidaklah mengherankan kalau kita mendapatkan hasil pada sumbu negatif. Ini merupakan efek dari perhitungan matematika, dan secara aplikasi kita tidak akan pernah menemukan frekuensi yang negatif. Yang perlu saya lakukan hanyalah menghilangkan komponen frekuensi negatif dan datang dengan gambar seperti gambar 3.17 berikut ini.



Gambar 3.17 Gambar spektrum frekuensi sinyal AM-DSB-FC yang sebenarnya.

Is there any complain after this? Of course not...Apa yang kita buat sudah tidak ada masalah lagi. Gambar 3.17 merupakan gambar spektrum frekuensi sinyal AM-DSB-FC yang sebenarnya. Tapi mari kita menganalisa sedikit tentang gambar 3.17 yang telah kita hasilkan, karena seorang engineer tidaklah berpuas terhadap hitungan dan gambar yang dihasilkan tapi seorang engineer harus bisa menganalisa arti dibalik gambar tersebut.

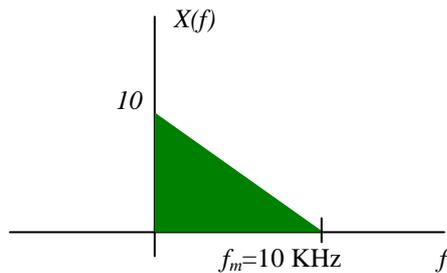
Jika kita perhatikan gambar 3.17, terlihat bahwa komponen frekuensi sinyal termodulasi $S(f)$ terdiri dari sebuah komponen frekuensi sinyal pemodulasi $X(f)$ yang telah digeser ke kanan sejauh frekuensi pembawanya f_c dan sebuah komponen frekuensi cermin dari spektrum yang telah digeser tadi yang simetris di nilai f_c . Disini kita bisa mengambil kesimpulan kenapa jenis modulasi ini disebut DSB (*Double Sided Band*) atau berarti dua pita frekuensi. Alasannya adalah karena spektrum frekuensinya terdiri dari dua spektrum yaitu spektrum frekuensi $X(f)$ yang telah digeser dan cerminannya. Pada gambar 3.17 juga kita jumpai satu buah komponen frekuensi pembawa sehingga inilah alasannya kenapa modulasi AM jenis ini disebut FC (*Full Carrier*) atau terdapat komponen frekuensi pembawa. Kini secara keseluruhan tentunya anda mengerti kenapa teknik modulasi ini dinamakan AM-DSB-FC bukan? Saya yakin tanpa bantuan dari saya, anda sudah tahu jawabannya.

Sekarang mari kita berlatih sekali lagi untuk menggambarkan sinyal AM-DSB-FC secara sederhana. Sebelumnya mari kita membuat kesimpulan mengenai cara untuk membuat spektrum frekuensi sinyal AM-DSB-FC. Cara ini didasarkan atas perjalannya panjang kita yang barusan kita lewati bersama diatas. Tekniknya adalah pertama kali gambarkan spektrum $X(f)$ yang telah digeser sejauh f_c yang memiliki amplituda $A_c m/2$, kemudian gambarkan cermin dari spektrum $X(f)$ terhadap sumbu tegak f_c yang juga memiliki nilai $A_c m/2$. Terakhir buatlah komponen frekuensi tunggal f_c dengan nilai $A_c/2$.

Latihan

Jika diketahui sinyal informasi pemodulasi memiliki spektrum frekuensi seperti pada gambar 3.18 berikut, gambarlah spektrum frekuensi termodulasi AM-DSB-FC, jika diketahui bahwa sinyal pemodulasi memodulasi sinyal

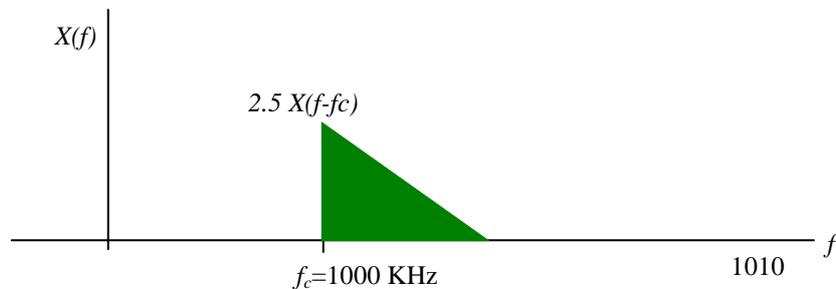
pembawa yang memiliki frekuensi pembawa f_c sebesar 1 MHz, $A_c=1$, dan $m=0.5$



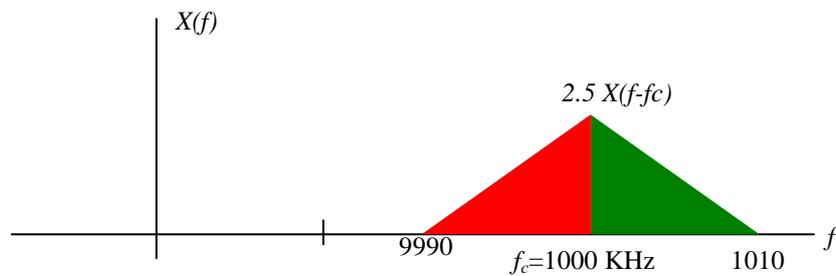
Gambar 3.18 Gambar spektrum sinyal $X(f)$ pada latihan

Jawab:

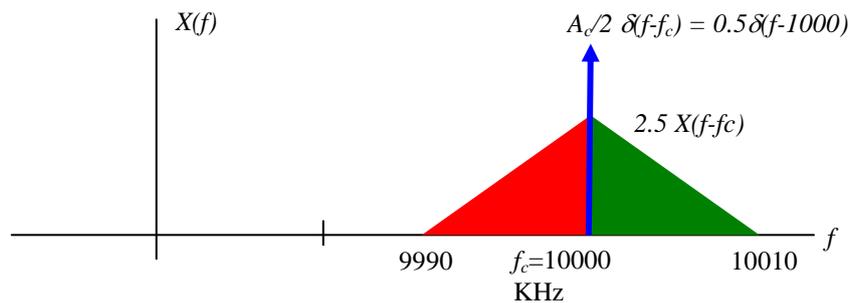
Sesuai dengan kesimpulan yang telah kita buat diatas. Maka langkah yang dilakukan adalah: pertama: Gambarkan spektrum sinyal $X(f)$ yang telah digeser ke kanan sejauh $f_c = 1\text{MHz}$, dengan amplituda bernilai $A_c m/2 = 1.0,5/2 = 0,25$, tetapi karena amplituda maksimum sinyal $X(f)$ adalah 10 maka nilai amplituda maksimum $X(f-f_c)$ adalah $10.0,25 = 2,5$



Kedua: gambarkan cerminan dari komponen frekuensi $X(f-f_c)$ yang simetris terhadap sumbu $f=f_c$, sehingga didapatkan gambar sebagai berikut:



Terakhir: Gambarkan komponen frekuensi sinyal pembawa pada $f=f_c$, sehingga didapat gambar sebagai berikut



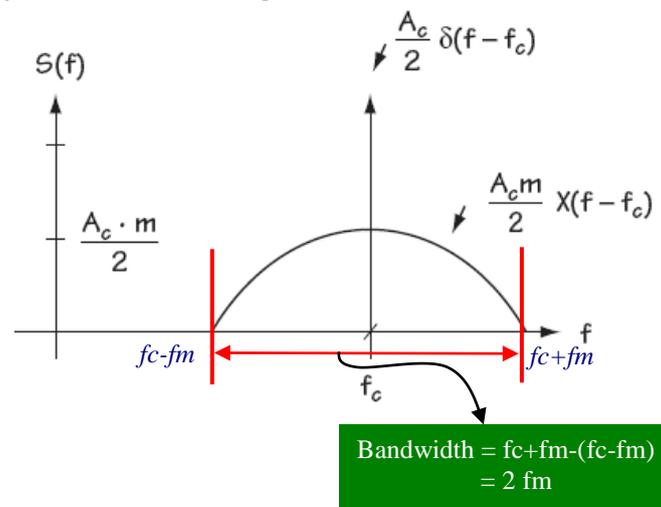
Nah anda telah mendapatkan gambar spektrum sinyal AM-DSB-FC sekarang, mudahkan?..

Istirahat dulu, OK.. dan kita akan bertemu lagi untuk membicarakan hal penting lainnya yang masih berhubungan dengan spektrum frekuensi AM-DSB-FC, yaitu Bandwidth AM-DSB-FC.

3.4.5 Bandwidth Sinyal AM-DSB-FC

Mari kita kembali mengamati gambar 3.17 diatas. Dari gambar 3.17 yang sudah lewat, saya yakin bahwa anda mampu

menentukan seberapa lebar bandwidth sinyal AM-DSB-FC. Ya.. Bandwidthnya adalah sebesar $2 f_m$, atau sebesar dua kali lebar spektrum frekuensi sinyal informasi asli. Untuk lebih jelasnya coba anda amati gambar 3.18 berikut:



Gambar 3.18 Lebar bandwidth Sinyal AM-DSB-FC

3.4.6 Demodulasi Sinyal AM-DSB-FC

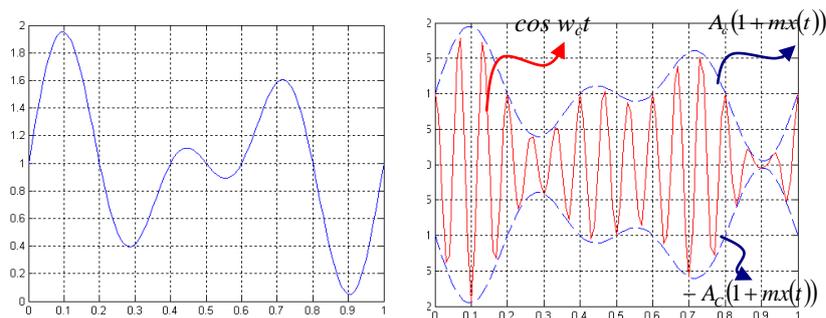
Demodulasi adalah proses yang mengembalikan sinyal termodulasi menjadi sinyal informasi kembali. Tentu saja sinyal termodulasi yang diterima telah bercampur dengan derau. Tetapi untuk penyederhanaan dan memudahkan analisa maka kita menganggap sinyal termodulasi yang diterima adalah bebas derau. Penyederhanaan ini bertujuan mempermudah kita dalam memahami proses kerja sebuah demodulator dalam melaksanakan proses demodulasi.

Ide proses demodulasi sangat sederhana sekali. Perhatikan gambar 3.19 a. Gambar tersebut adalah gambar sebuah sinyal termodulasi AM-DSB-FC. Perhatikan pula lagi gambar 3.19b. Gambar tersebut adalah gambar sinyal informasi

asli (pemodulasi). Dari pengamatan kita terhadap kedua gambar tersebut, terlihat bahwa nilai sinyal informasi tersimpan di dalam amplituda dari sinyal termodulasi. Perhatikan bahwa bentuk amplituda atau selubung dari sinyal termodulasi adalah mengikuti bentuk amplituda sinyal informasi. Jadi, yang dapat kita lakukan untuk mendapatkan sinyal informasi asli adalah dengan cara mendapatkan selubung dari sinyal termodulasi.

Sekarang, permasalahannya adalah bagaimana kita mendapatkan selubung dari sinyal termodulasi ? Mari kita sedikit ber-brainstorming bersama-sama.

Coba kita kembali memperhatikan gambar 3.19 b yang merupakan gambar sebuah sinyal termodulasi.



Gambar 3.19. (a) Contoh sebuah sinyal pemodulasi (b) Sinyal termodulasi AM-DSB-FC

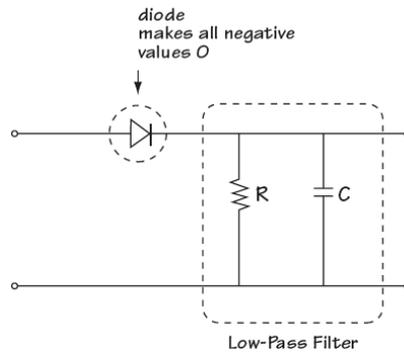
Pada gambar 3.19 b diatas, kita dapat mengamati tiga komponen sinyal termodulasi. Kita juga dapat menyimpulkan bahwa salah satu komponen sinyal termodulasi yang sangat mirip dengan sinyal informasi asli adalah komponen sinyal $A_c(1+mx(t))$. Ini berarti kita dapat menghasilkan sinyal pemodulasi dengan menghilangkan komponen sinyal

$-A_c(1+mx(t))$ dan komponen sinyal $\cos w_c t$ dan menyisakan komponen sinyal $A_c(1+mx(t))$

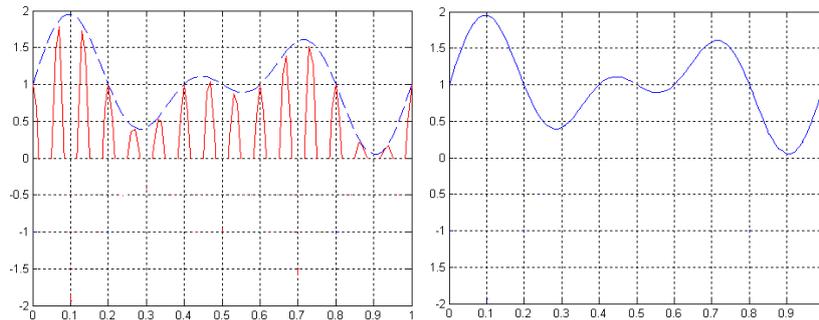
Sekarang pertanyaan besar yang harus kita jawab adalah :bagaimanakah cara menghilangkan komponen sinyal $\cos w_c t$ dan komponen sinyal $-A_c(1+mx(t))$?

Perhatikan bahwa komponen sinyal $\cos w_c t$ adalah sinyal yang memiliki frekuensi tinggi, dimana frekuensi w_c adalah frekuensi sudut yang cukup tinggi, jauh lebih tinggi dari frekuensi pada komponen sinyal $x(t)$. Bagaimana ya cara menghilangkan komponen frekuensi tinggi? Ya... mudah sekali, yaitu dengan cara melewatkan sinyal ini ke sebuah Low Pass Filter (LPF). LPF yang kita perlukan disini adalah LPF yang memiliki *band pass* lebih kecil dari w_c . Rangkaian R-C yang diparalel pada gambar 3.20 merupakan rangkaian LPF sederhana, tentu saja nilai R dan C nantinya akan menentukan nilai frekuensi cut off dari LPF tersebut.

Selanjutnya bagaimanakah cara untuk menghilangkan komponen $-A_c(1+mx(t))$ yang bernilai negatif ?. Ya, sekali lagi ini adalah permasalahan yang mudah bagi anda. Kita dapat menghilangkan sinyal negatif dengan cara melewatkan sinyal termodulasi melalui sebuah dioda. Seperti yang kita ketahui bersama, dioda hanya melewatkan arus positif, sementara arus negatif akan dihapuskannya. Perhatikan pada gambar 3.20, terdapat sebuah dioda yang bertugas menghilangkan komponen negatif dari sinyal AM-DSB-FC.



Gambar 3.20 Rangkaian Demodulator AM-DSB-FC Sederhana



Gambar 3.21(a) Sinyal keluaran dioda (b) Sinyal keluaran LPF

Perhatikan gambar 3.21 diatas. Gambar 3.21 a merupakan gambar sinyal termodulasi yang sudah dilewatkan pada dioda demodulator AM-DSB-FC. Lihat bahwa disini sinyal yang memiliki nilai negatif telah dibuang oleh dioda. Gambar 3.21 b merupakan gambar dari sinyal 3.21 b yang dilewatkan pada LPF demodulator AM-DSB-FC. Lihat bahwa disini komponen frekuensi tinggi $\cos w_c t$ telah dipotong oleh LPF sehingga yang

tersisa hanya komponen positif selubung atau komponen $A_c(1+mx(t))$

Keuntungan yang paling dirasakan dari teknik modulasi AM-DSB-FC ini adalah perangkat penerima atau demodulatornya yang murah dibandingkan perangkat penerima pada teknik yang lainnya. Rangkaian demodulatornya hanya terdiri dari sebuah dioda, sebuah resistor dan sebuah kapasitor. Sederhana dan murahkan?

3.4.7 Daya Sinyal AM-DSB-FC

Distribusi daya sinyal AM-DSB-FC sangat perlu untuk dikaji. Kajian ini bertujuan untuk melihat seberapa besar porsi komponen-komponen daya yang ada pada sinyal AM-DSB-FC. Dengan mengetahui porsi komponen-komponen daya sinyal AM-DSB-FC maka kita akan dapat mengetahui seberapa besar efisiensi penggunaan daya dan parameter-parameter apa saja yang mempengaruhi efisiensi penggunaan daya.

Kita dapat mengacu kepada persamaan 3.2 dalam menentukan nilai daya sinyal AM-DSB-FC. Kita tuliskan kembali persamaan 3.2 sebagai berikut $s(t) = A_c(1+mx(t))\cos w_c t$ atau dapat kita perluas menjadi persamaan 3.6 berikut:

$$s(t) = A_c \cos(w_c t) + A_c mx(t)\cos(w_c t) \quad (3.6)$$

Dari persamaan 3.6 kita dapat menentukan daya sinyal AM sebagai berikut:

$$P_{am} = \frac{A_c^2}{R} + \frac{A_c^2 m^2 P_x}{R} \quad (3.7)$$

dimana P_x adalah daya sinyal pemodulasi $x(t)$.

P_x dapat ditentukan menggunakan perhitungan daya rata-rata sebagai berikut:

$$P_x = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t)^2 dt \quad (3.8)$$

Efisiensi modulasi AM-DSB-FC merupakan hal yang penting untuk diperhitungkan. Ini disebabkan karena daya

sinyal AM terdiri dari tiga komponen daya yaitu daya sinyal pembawa, daya sinyal pita atas dan daya sinyal pita bawah. Semakin tinggi komponen daya sinyal pembawa maka efisiensi yang kita miliki akan semakin kecil, karena sebagian besar daya kita habiskan untuk mengirimkan sinyal pembawa dan hanya sebagian kecil daya yang kita habiskan untuk mengirimkan sinyal informasi.

Efisiensi daya dalam modulasi AM-DSB-FC dapat didefinisikan sebagai daya sinyal informasi dibagi dengan daya sinyal AM-DSB-FC, yang dapat kita turunkan dari persamaan 3.7. Efisiensi AM-DSB-FC dituliskan sebagai persamaan berikut:

$$\eta = \frac{A_c^2 m^2 P_x / R}{A_c^2 / R + A_c^2 m^2 P_x / R} = \frac{m^2 P_x}{1 + m^2 P_x} \quad (3.8)$$

3.4.8 Daya Sinyal AM-DSB-FC Dengan Sinyal Pemodulasi Sinus

Pada sub bab ini kita akan membahas daya sinyal AM-DSB-FC dengan kasus dimana sinyal pemodulasinya berupa sinyal sinus. Kembali kita tuliskan persamaan umum sinyal AM-DSB-FC sebagai berikut:

$s(t) = A_c(1 + mx(t))\cos w_c t$; kita dapat memperluas persamaan ini menjadi persamaan 3.9 berikut:

$$s(t) = A_c \cos(w_c t) + A_c mx(t)\cos(w_c t) \quad (3.9)$$

Dengan mengasumsikan bahwa $x(t) = \cos(w_x t)$ maka persamaan 3.9 dapat diubah menjadi persamaan 3.10 berikut:

$$s(t) = A_c \cos(w_c t) + A_c m \cos(w_x t)\cos(w_c t) \quad (3.10)$$

Rumus hubungan trigonometri ditunjukkan pada persamaan 3.11 berikut

$$\cos x \cos y = \frac{\cos(x + y) + \cos(x - y)}{2} \quad (3.11)$$

Dengan menggunakan hubungan trigonometri pada persamaan 3.11 maka kita dapat memanipulasi persamaan 3.10 menjadi persamaan 3.12 sebagai berikut:

$$s(t) = A_c \cos(w_c t) + \frac{A_c m}{2} \cos(w_c + w_x) t + \frac{A_c m}{2} \cos(w_c - w_x) t \quad (3.12)$$

Dari persamaan 3.12 diatas kita mendapatkan 3 buah komponen sinyal AM-DSB-FC, sehingga kita dapat menggunakan persamaan 3.10 untuk menghitung daya rata-rata sinyal AM-DSB-FC

Harga rata-rata (rms) dari gelombang yang terdiri dari banyak komponen frekuensi dihitung dengan akar dari jumlah kwadrat dari tiap-tiap harga rms sebagai berikut:

$$E_{am} = \sqrt{\text{rms komponen 1} + \text{rms komponen 2} + \text{rms komponen 3}}$$

$$E_{am} = \sqrt{\left(\frac{A_c}{\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{mA_c}{2\sqrt{2}}\right)^2 + \left(\frac{mA_c}{2\sqrt{2}}\right)^2}$$

$$E_{am} = \sqrt{\frac{A_c^2}{2} + \frac{m^2 A_c^2}{8} + \frac{m^2 A_c^2}{8}} \quad (3.13)$$

Daya dihitung sebagai kwadrat tegangan rms yang dibagi dengan resistansi, sehingga daya gelombang AM adalah:

$$P_{am} = \frac{E_{am}^2}{R} = \frac{A_c^2}{2R} + \frac{m^2 A_c^2}{8R} + \frac{m^2 A_c^2}{8R} = \frac{A_c^2}{2R} + \frac{m^2 A_c^2}{4R} \quad (3.14)$$

Daya untuk komponen sinyal pembawa adalah :

$P_c = \frac{A_c^2}{2R}$; dengan mensubsitusikan P_c ke dalam persamaan 3.14 maka kita dapatkan daya sinyal AM-DSB-FC sebagai berikut:

$$P_{am} = P_c \left(1 + \frac{m^2}{2}\right) \quad (3.15)$$

Dengan menggunakan persamaan 3.15 ini kita dapat mengamati bahwa daya total dari sinyal AM P_{am} dipengaruhi oleh nilai m dan nilai P_c . Ini artinya selain mengirimkan daya sinyal informasi, sinyal AM-DSB-FC juga mengirimkan daya sinyal pembawa. Ini merupakan salah satu kelemahan dari teknik AM-DSB-FC dimana teknik ini membuang-buang daya dengan mengirimkan komponen sinyal yang bukan berupa komponen sinyal informasi, sehingga pemakaian daya pada AM-DSB-FC kurang efisien.

Agar sinyal AM-DSB-FC yang dikirim memiliki efisiensi yang baik, maka komponen sinyal pemodulasi harus memiliki porsi yang sebesar mungkin dari total komponen sinyal AM-DSB-FC. Untuk itu berdasarkan pada persamaan 3.14 kita dapat mencari efisiensi sinyal AM-DSB-FC sebagai perbandingan antara daya sinyal pemodulasi dibandingkan dengan daya sinyal AM-DSB-FC keseluruhan, yang menghasilkan persamaan 3.16 berikut:

$$\eta = \frac{\frac{m^2 A_c^2}{4R}}{\frac{A_c^2}{2R} + \frac{m^2 A_c^2}{4R}} = \frac{m^2}{2 + m^2} \quad (3.16)$$

Berdasarkan kepada persamaan 3.16 kita dapat mengambil kesimpulan bahwa efisiensi dapat kita tingkatkan dengan cara memberikan nilai m yang setinggi mungkin. Tapi perlu diingat bahwa nilai m tidak boleh lebih dari 1 karena bila ini terjadi $m > 1$ maka sinyal AM-DSB-FC akan mengalami distorsi dimana selubung sinyal AM-DSB-FC tidak akan menyerupai sinyal informasi aslinya seperti yang ditunjukkan gambar 3.7b. Oleh karenanya nilai m harus berada antara 0 dan 1.

Latihan

Untuk sebuah gelombang AM-DSB-FC dengan tegangan puncak sinyal pembawa tidak termodulasi $A_c=10$ V, Tahanan beban $R_L = 10 \Omega$ dan indeks modulasi $m=1$, asumsikan sinyal pemodulasi berupa sinyal sinus, tentukanlah:

- Daya sinyal pembawa dan daya pita sisi atas dan daya pita sisi bawah
- Daya total sinyal termodulasi

Jawab

- Daya sinyal pembawa adalah:

$$P_c = \frac{A_c^2}{2R} = \frac{10^2}{2 \cdot 10} = \frac{100}{20} = 5W$$

Daya pita sisi atas dan sisi bawah adalah adalah:

$$P_{pitaatas} = P_{pitabawah} = \frac{m^2 P_c}{4} = \frac{1^2 \cdot 5}{4} = 1,25W$$

- Daya total AM-DSB-FC adalah

$$P_{am} = P_c \left(1 + \frac{m^2}{2} \right) = 5 \left(1 + \frac{1^2}{2} \right) = 7,5W$$

3.5 Modulasi AM-DSB-SC (AM-DSB-Suppressed Carrier)

Sebagaimana yang telah kita bahas pada bagian 3.4 bahwa teknik modulasi AM-DSB-FC memiliki kelemahan yang cukup penting yaitu efisiensi yang kurang baik disebabkan adanya pemborosan daya untuk pengiriman sinyal pembawa. Oleh karena itu kekurangan AM-DSB-FC ini diatasi dengan menggunakan teknik modulasi yang lebih baik dalam efisiensi daya yaitu yang disebut dengan teknik modulasi AM-DSB-SC.

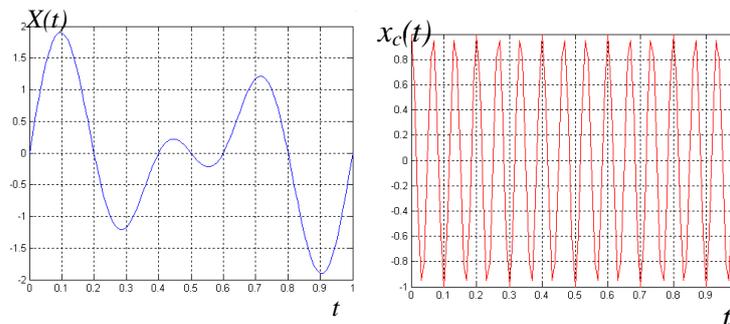
Pada teknik modulasi AM-DSB-SC, komponen daya sinyal pembawa tidak diikutsertakan dalam pengiriman sehingga menjadikan sistem ini lebih efisien.

3.5.1 Modulasi Sinyal AM-DSB-SC dalam domain waktu

Untuk memudahkan mengingat, maka persamaan sinyal AM-DSB-SC adalah sama dengan persamaan AM-DSB-FC tetapi tanpa menyertakan komponen sinyal pembawa. Sehingga kita bisa menulis persamaan sinyal AM-DSB-SC sebagai berikut:

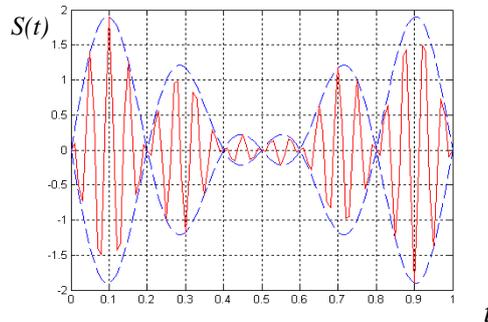
$$S(t) = A_c x(t) \cos(\omega_c t) \quad (3.17)$$

Kita asumsikan bahwa kita memiliki sinyal informasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.22 (a) dan Sinyal pembawa seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.22 (b) berikut.



Gambar 3.22 (a) Contoh Sinyal Informasi (b) Sinyal Pembawa

Selanjutnya, jika kita lakukan operasi perkalian antara kedua sinyal tersebut, maka secara intuitif kita dapat mengatakan bahwa sinyal hasil kali akan memiliki selubung dengan besar $A_c x(t)$ sebagai selubung atas dan $-A_c x(t)$ sebagai selubung bawah. Selanjutnya diantara kedua selubung tersebut kita dapat menggambarkan sinyal pembawa seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.23 berikut ini.

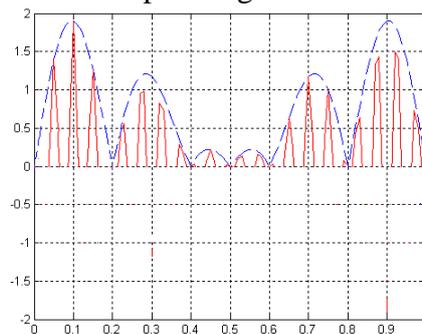


Gambar 3.23 Sinyal Termodulasi

3.5.2 Demodulasi Sinyal AM-DSB-SC dalam domain waktu

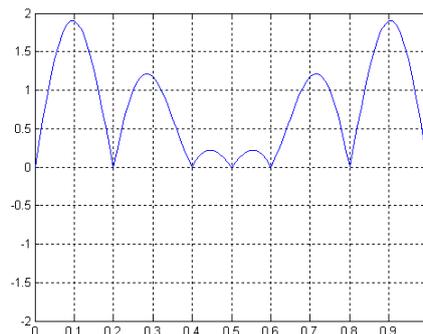
Nah, sekarang bagaimana proses demodulasi sinyal AM-DSB-SC?. Apakah kita masih bisa menggunakan perangkat demodulator AM-DSB-FC yang murah?. Mari kita coba untuk menganalisa apakah sinyal AM-DSB-SC dapat didemodulasi oleh demodulator AM-DSB-FC.

Berikut kita akan mengikuti langkah-langkah demodulasi pada teknik AM-DSB-FC. Pertama, kita akan menghilangkan nilai negatif dari sinyal AM-SB-SC pada gambar 3.23, sehingga kita akan mendapatkan gambar 3.24 sebagai berikut



Gambar 3.24 Sinyal AM-DSB-SC yang telah dihilangkan nilai negatifnya

Selanjutnya sinyal pada gambar 2.4 dilewatkan melalui sebuah filter LPF dimana komponen frekuensi tingginya dihilangkan, sehingga menghasilkan sinyal seperti gambar 3.25 berikut ini.



Gambar 3.25 Sinyal AM-DSB-SC yang telah melewati LPF

Jika kita amati gambar 3.25 dan membandingkan bentuk sinyalnya dengan sinyal informasi asli pada gambar 3.22.a, maka kita dapat mengatakan bahwa kedua sinyal tidak sama. Artinya adalah sinyal hasil demodulasi telah berubah dan memiliki bentuk amplituda yang berbeda dengan sinyal informasi aslinya. Kesimpulannya adalah kita tidak dapat menggunakan demodulator AM-DSB-FC yang murah untuk melakukan demodulasi sinyal AM-DSB-SC.

Wah, Jadi meskipun teknik AM-DSB-SC memiliki kelebihan dalam hal efisiensi daya, tetapi teknik AM-DSB-FC juga memiliki kelebihan dimana demodulator dapat dibangun dari rangkaian yang sederhana dan murah. Begitu juga, meskipun teknik AM-DSB-SC memiliki kekurangan dalam kesederhanaan rangkaian demodulator, teknik AM-DSB-FC juga memiliki kekurangan dalam hal efisiensi daya.

Dapatkah anda mengambil pelajaran, bahwa di dunia ini tidak ada yang semua kebaikan berkumpul pada suatu benda, melainkan Allah SWT menciptakan segala sesuatu dengan kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Tinggal

tergantung kita bagaimana memanfaatkan kelebihan tersebut dan saling menutupi kekurangan yang ada. Saling mengisi, itulah yang harus kita coba untuk terapkan dalam kehidupan kita.

3.5.3 Spektrum Sinyal AM-DSB-SC

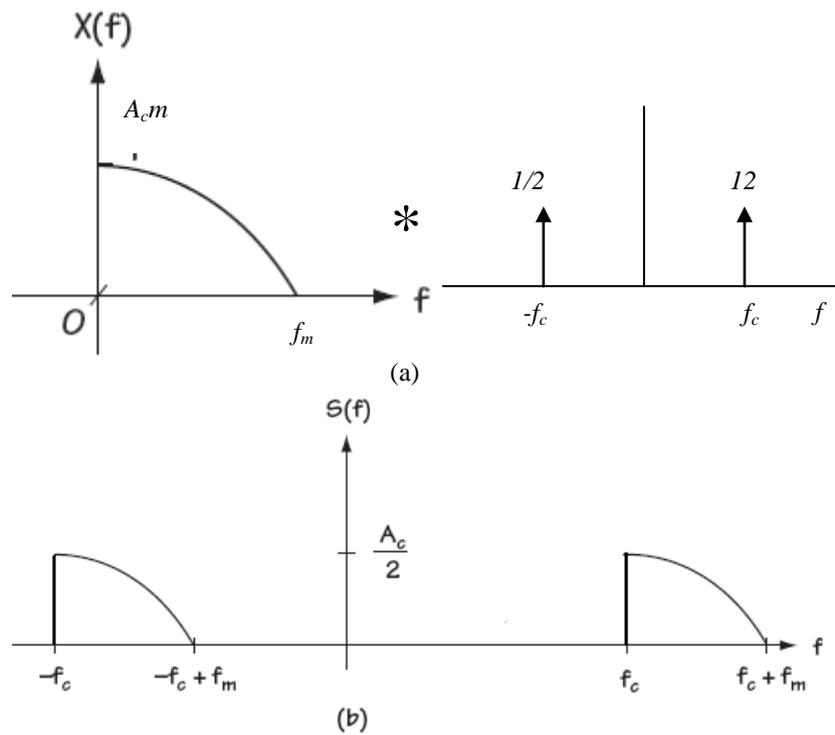
Efisiensi dari sinyal AM-DSB-SC akan lebih dapat kita rasakan jika kita melihat spektrum sinyal AM-DSB-SC dalam domain frekuensi. Menggunakan transformasi Fourier dan sifat konvolusi, maka kita dengan mudah dapat menuliskan persamaan sinyal AM-DSB-SC dalam domain frekuensi sebagai berikut:

$$s(t) = A_c X(t) * \left[\frac{1}{2} \delta(f - f_c) + \frac{1}{2} \delta(f + f_c) \right] \quad (3.18)$$

Dengan menggunakan sifat konvolusi yang mengatakan bahwa konvolusi suatu sinyal $X(f)$ dengan komponen frekuensi tunggal f_c yaitu $(\frac{1}{2} \delta(f - f_c))$ dan dengan komponen frekuensi tunggal $-f_c$ yaitu $(\frac{1}{2} \delta(f + f_c))$ akan menghasilkan suatu operasi pergeseran sinyal $X(f)$ ke kanan sejauh f_c dan ke kiri sejauh f_c , yang dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan 3.19 berikut:

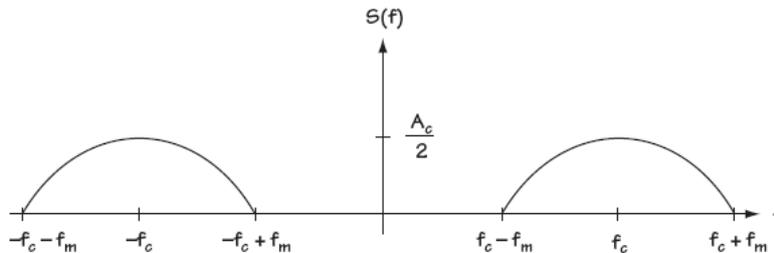
$$S(f) = \frac{A_c}{2} X(f - f_c) + \frac{A_c}{2} X(f + f_c) \quad (3.19)$$

Gambar spektrum sinyal $S(f)$ ditunjukkan dalam gambar 3.22 a dan b berikut:



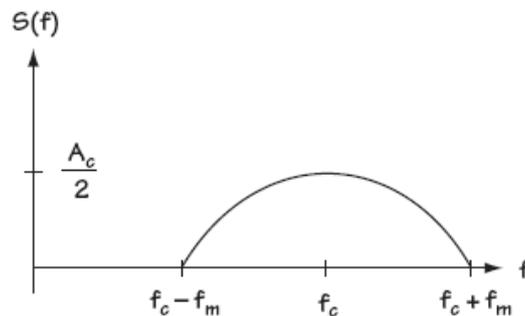
Gambar 3.22 (a) Spektrum $X(f)$ dikonvolusikan dengan spektrum $\left[\frac{1}{2}\delta(f - f_c) + \frac{1}{2}\delta(f + f_c) \right]$ (b) Spektrum frekuensi hasil konvolusi

Sekali lagi, seperti pembahasan mengenai modulator AM-DSB-FC pada sub bab 3.4.4, ketidaklinearan modulator AM akan menghasilkan spektrum frekuensi cerminan dari spektrum frekuensi pada gambar 3.22 b, yang ditunjukkan pada gambar 3.23.



Gambar 3.23 Spektrum Sinyal $S(f)$ yang memuat komponen cermin

Dan, sekali lagi, seperti pembahasan kita sebelumnya, bahwa frekuensi negatif tidak pernah ada, maka spektrum sinyal AM-DSB-SC pada gambar 3.23 diperbaiki menjadi gambar 3.24 sebagai berikut



Gambar 3.24 Spektrum Sinyal $S(f)$ yang memuat komponen cermin dan tidak memuat nilai negatif

Nah..Gambar 3.24 ini menunjukkan spektrum dari sinyal AM-DSB-SC yang sebenarnya. Sehingga persamaan matematika dari spektrum sinyal AM-DSB-SC disederhanakan dari persamaan 3.19 menjadi persamaan 3.20 berikut:

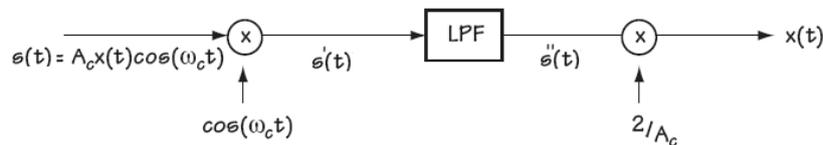
$$s(t) = \frac{A_c}{2} X(f - f_c) + \frac{A_c}{2} X(-(f - f_c)) \quad (3.20)$$

Komponen cermin

Dari gambar 3.24 kita bisa melihat bahwa spektrum sinyal AM-DSB-SC tidak memiliki komponen frekuensi pembawa. Dari gambar ini kita juga dapat menyimpulkan bahwa lebar bandwidth untuk sinyal AM-DSB-SC adalah $2 f_m$.

3.5.4 Rangkaian Demodulator AM-DSB-SC

Rangkaian demodulator AM-DSB-SC ditunjukkan pada gambar 3.25 berikut.



Gambar 3.25 Rangkaian Demodulator AM-DSB-SC

Dari gambar 3.25 diatas, kita dapat melihat bahwa sinyal termodulasi dikalikan dengan $\cos(\omega_c t)$ sehingga menghasilkan persamaan $s'(t)$ sebagai berikut:

$$s'(t) = A_c x(t) \cos(\omega_c t) \cos(\omega_c t) \quad (3.20)$$

Persamaan 3.20 diatas dapat dimanipulasi dengan menggunakan hubungan trigonometri menjadi persamaan berikut:

$$s'(t) = \frac{A_c}{2} x(t) [1 + \cos(2\omega_c t)] \quad (3.21)$$

Kembali ke gambar 3.25. Sinyal $s'(t)$ pada persamaan 3.21 selanjutnya dilewatkan ke sebuah LPF. Disini LPF berfungsi untuk menghilangkan komponen frekuensi tinggi $\cos(2\omega_c t)$, sehingga akan dihasilkan sinyal keluaran seperti persamaan berikut:

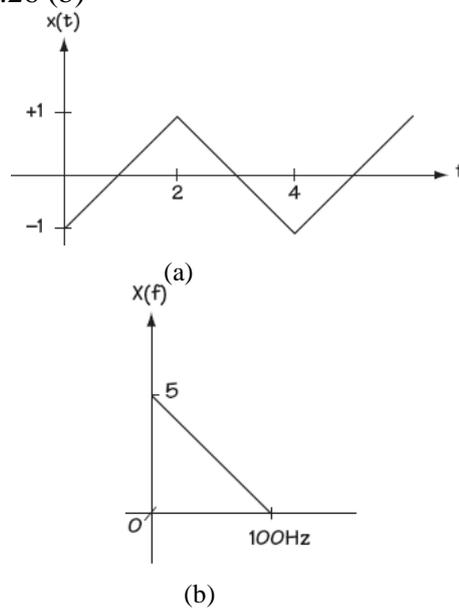
$$s''(t) = \frac{A_c}{2} x(t) \quad (3.22)$$

Selanjutnya untuk mendapatkan sinyal informasi asli $x(t)$, Kita dapat menghilangkan nilai $A_c/2$ dengan cara mengalikan persamaan 3.22 dengan konstanta $A_c/2$ seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.25. Hasil akhir dari perkalian ini akan menghasilkan sinyal $x(t)$ atau sinyal informasi asli. Mudah bukan..?

Latihan

Asumsikan nilai $A_c = 4$,

- a. Tentukan output dalam domain waktu dari modulator AM-DSB-FC jika diketahui input sinyal adalah seperti gambar 3.26 (a)
- b. Tentukan output dalam domain frekuensi dari modulator AM-DSB-FC jika diketahui input sinyal adalah seperti gambar 3.26 (b)



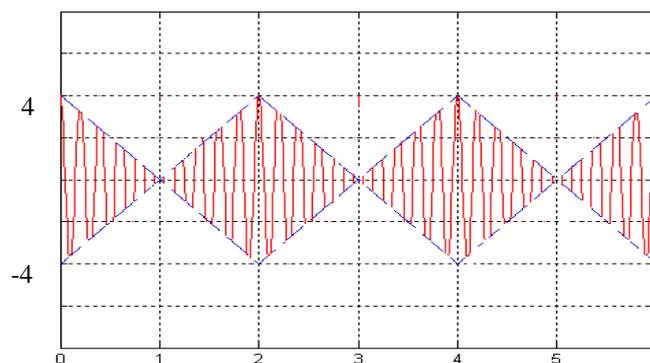
Gambar 3.26 (a) Sinyal informasi $x(t)$ (b) Sinyal informasi $X(f)$

Jawab:

Dengan menggunakan persamaan sinyal AM-DSB-SC pada persamaan 3.17 maka kita bisa mendapatkan persamaan sinyal AM-DSB-SC sebagai berikut:

$$s(t) = 4x(t)\cos(\omega_c t)$$

Kita dapat menggambarkan sinyal $s(t)$ diatas dengan cara menggambar sinyal $4x(t)$ dan $-4x(t)$ dengan garis putus-putus sebagai selubung bagi sinyal $s(t)$, sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 3.27 berikut:



Gambar 3.27 (a) Sinyal $s(t) = 4x(t)\cos(\omega_c t)$

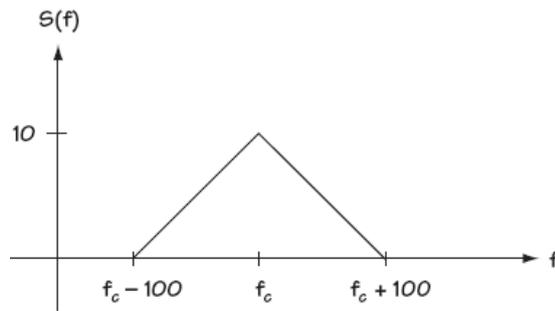
(b) Menggunakan persamaan 3.20 maka spektrum sinyal AM-DSB-SC adalah ditentukan dengan persamaan berikut:

$$s(t) = \frac{A_c}{2} X(f - f_c) + \frac{A_c}{2} X(-(f - f_c))$$

Karena nilai $\frac{A_c}{2} = \frac{4}{2} = 2$ dan $X(f)$ memiliki nilai maksimum 5, maka nilai maksimum dari komponen frekuensi $X(f - f_c)$ dan $X(f + f_c)$ adalah $5 \times 2 = 10$.

Spektrum sinyal AM-DSB-SC dapat digambarkan sebagai spektrum $X(f)$ yang digeser ke kekiri sejauh f_c dan sinyal

komponen cerminnya, seperti yang ditunjukkan gambar 3.28 berikut ini:

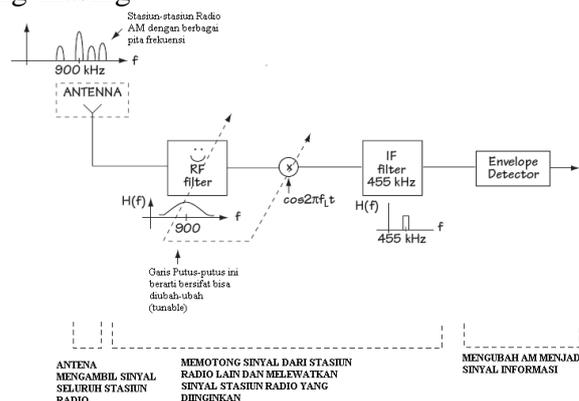


Gambar 3.28 Spektrum sinyal $s(t) = 4x(t)\cos(\omega_c t)$

3.6 Penerima AM Superheterodyn

Penerima AM Superheterodyn merupakan penerima AM yang standar, yang juga banyak digunakan untuk mengambil siaran stasiun radio apapun. Sekarang, mari kita membahas bagaimana penerima superheterodyn ini bekerja.

Perhatikanlah gambar 3.29. Pada gambar ini terdapat spektrum frekuensi dari berbagai stasiun radio yang mentransmisikan musik dan suara pada frekuensi transmisinya masing-masing.



Gambar 3.29 Bagan Penerima Superheterodyn

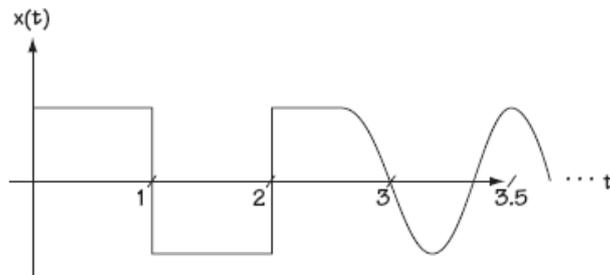
Konstruksi dari sebuah penerima AM superheterodyn ditunjukkan pada gambar 3.29. Anggaplah kita ingin mengambil siaran radio Tuanku Tambusai FM yang memiliki spektrm sinyal pada 900 KHz

1. Sebagai permulaan, antena akan menangkap sinyal siaran dari seluruh stasiun radio AM yang ada.
2. Selanjutnya, kita menggunakan 3 komponen untuk tidak menerima sinyal dari stasiun lain, dan hanya menerima sinyal stasiun radio Tuanku Tambusai FM pada 900 KHz
 - i. Komponen pertama digunakan untuk memotong sinyal siaran stasiun radio lainnya adalah filter RF (*Radio Frequency*) yang *tunable* (dapat diubah-ubah posisi *passband*-nya. Filter RF dituning pada 900 KHz , dan bertindak sebagai filter *bandpass*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.29. Filter RF ini memotong sinyal radio dari frekuensi lain. Alasan mengapa kita tidak menggunakan filter RF yang memiliki *passband* yang tajam adalah karena sangat mahal untuk memiliki filter RF yang tajam dan dapat diubah-ubah (*tunable*).
 - ii. Selanjutnya kita menggunakan sebuah mixer. Mixer beroperasi dengan mengalikan sinyal masukan dengan sebuah sinyal gelombang cosinus yang beroperasi pada frekuensi tertentu, sebut saja f_{IF} . Efek dari operasi perkalian ini adalah membawa siaran radio yang telah kita pilih tadi menuju sebuah frekuensi yaitu frekuensi f_{IF} . Asumsikan f_{IF} adalah sebesar 450 KHz.
 - iii. Selanjutnya kita melewati sinyal kita pada sebuah filter IF yang beroperasi pada frekuensi 450 KHz. Filter ini memiliki karakteristik *passband* yang sangat tajam, sehingga tidak terdapat sinyal pada band yang tidak digunakan.

- iv. Terakhir sinyal keluaran filter IF masuk ke demodulator selubung dan menghasilkan suara merdu penyiar faforit anda...
3. Dapatkah anda mengetahui bagian apa dari gambar 3.29 diatas yang anda putar-putar (tuning) pada radio anda ketika anda ingin mencari siaran stasiun radio yang anda inginkan ?
- Ya, ya, Saya tahu anda tahu, maaf menanyakan hal yang sederhana ini.

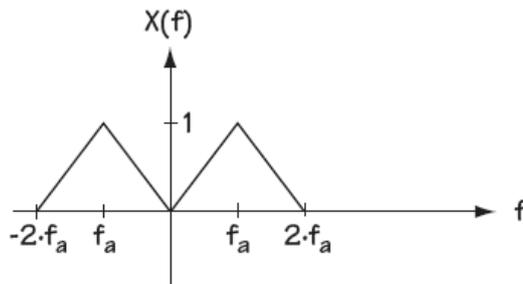
Latihan

1. Gambar 3.30 menunjukkan input untuk sebuah modulator. Tentukanlah output modulator jika:
 - a. Modulator adalah sebuah modulator AM-DSB-FC
 - b. Modulator adalah sebuah modulator AM-DSB-FC



Gambar 3.30 Sinyal Input dalam domain waktu

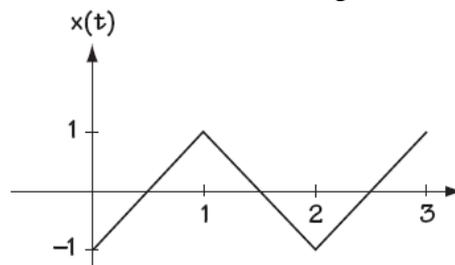
2. Gambar 3.31 menunjukkan input untuk sebuah modulator. Tentukan output dari modulator tersebut (dalam domain frekuensi) jika
 - a. Modulator adalah sebuah modulator AM-DSB-FC
 - b. Modulator adalah sebuah modulator AM-DSB-FC



Gambar 3.31 Sinyal Input dalam domain frekuensi

3. Misalkan sinyal $x(t)$ pada gambar 3.32 di atas adalah input untuk sebuah modulator AM-DSB-SC

- a. Tentukan output modulator
- b. Asumsikan sinyal ini dikirim melalui sebuah kanal wireless yang ideal (sinyal kirim sama dengan sinyal terima), Tentukan output demodulator jika demodulator adalah sebuah detektor selubung



Gambar 3.32 Sinyal Input $x(t)$

4. Jika input input sinyal dinyatakan sebagai persamaan berikut, buatlah suatu persamaan analitis untuk output modulator jika modulatnya adalah:

$$x(t) = \begin{cases} t & , 0 < t < 1 \\ 2-t & , 1 < t < 2 \\ 0 & , \text{lainnya} \end{cases}$$

- a. Modulator AM-DSB-SC
- b. Modulator AM-DSB-FC

**BAB
EMPAT**

**MODULASI AM DOMAIN WAKTU MENGGUNAKAN
MATLAB**

Terkadang adalah sangat mengasyikkan apabila kita dapat melihat apa yang telah kita pelajari ditayangkan dalam bentuk yang seakan-akan sama dengan yang sebenarnya. Oleh karena itu dalam buku ini saya menambahkan satu bab khusus mengenai program simulasi modulasi AM.

Program simulasi ini sangat berguna apabila kita ingin melakukan analisa terhadap sistem yang sedang kita pelajari. Ini dilakukan dengan cara mencoba-coba untuk mengubah parameter-parameter input program simulasi dan melihat pengaruhnya pada output yang dihasilkan sehingga berbagai kesimpulan dapat kita peroleh disana. Sebagai contoh kita dapat mengubah parameter indeks modulasi m pada program simulasi kita dan melihat efeknya pada output yang dihasilkan dalam sekejap. Hal ini sangat berbeda apabila kita melakukan perhitungan secara manual, karena membutuhkan waktu yang lama dan ketelitian dalam perhitungan sehingga kita kesulitan untuk melihat efek-efek perubahan parameter input terhadap output yang dihasilkan.

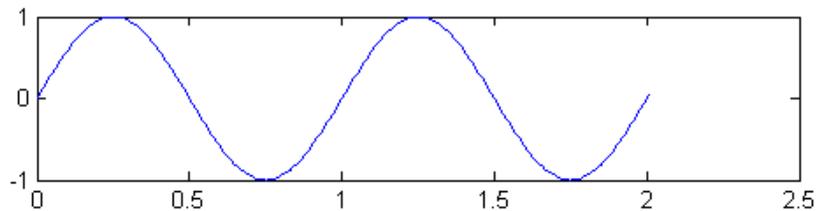
Dalam buku ini kita akan mencoba untuk mensimulasikan modulasi AM menggunakan bahasa pemrograman Matlab. Bahasa Pemrograman Matlab kita pilih sebagai bahasa pemrograman karena bahasa pemrograman ini sangat mudah untuk digunakan, tidak membutuhkan pengkodean program yang berbelit-belit dan telah memiliki pustaka perintah untuk beberapa fungsi matematika dan telekomunikasi.

Dalam buku ini kita lebih menekan pada latihan pembuatan program daripada penjelasan tentang pembuatan sebuah program.

4.1 Menghasilkan sinyal Informasi Sinus

Ikutilah perintah-perintah berikut ini:

1. Bukalah program matlab dengan melakukan klik ganda pada ikon matlab .
2. Setelah jendela *command prompt Matlab* terbuka, ketikkan perintah sebagai berikut:
Fs = 100; %Frekuensi sampling 100 kali per detik
*t = [0:2*Fs+1]/Fs; %waktu sampling adalah sepanjang 2*
%detik
Fc = 10; % Frekuensi carrier 10 Hz
*x = sin(2*pi*t); % menghasilkan sinyal sinus sebagai*
% sinyal informasi
subplot(3,1,1);%menghasilkan 3 gambar dalam 1 jendela
plot(t,x); %menampilkan sinyal x sebagai fungsi waktu t
hold on; %menahan gambar sinyal x
3. Jika anda melakukan perintah diatas dengan benar, maka akan muncul gambar 4.1 berikut:



Gambar 4.1 Menghasilkan Sinyal Informasi Sinus

Dari gambar 4.1 yang dihasilkan, dapat diamati bahwa sinyal sinus yang dihasilkan adalah dari $t=0$ detik sampai $t = (2x Fs+1)/Fs = (2x100+1)/100 = 201/100 = 2,001$ detik. Ini sesuai dengan perintah yang kita ketikkan pada baris kedua program diatas. Juga dapat kita amati bahwa sinyal sinus yang dihasilkan memiliki dua bentuk gelombang selama waktu 2 detik. Ini berarti gelombang sinus yang dihasilkan memiliki frekuensi 1 Hz. Ini sesuai dengan nilai frekuensi yang kita masukkan pada program diatas baris keempat.

Dari percobaan program ini, dapatkah anda mengerti fungsi perintah subplot dan plot?, coba anda jelaskan pada diri anda sendiri.

4.2 Menghasilkan sinyal AM-DSB-SC

1. Ketikkan perintah berikutnya pada *command prompt*

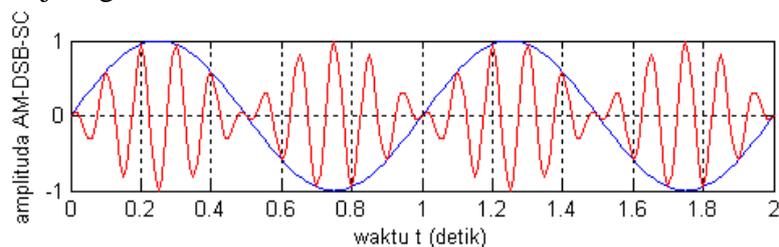
```

Matlab
ydouble = amod(x,Fc,Fs,'amdsb-sc'); %modulasi am-dsb-
                                     %sc
plot(t,ydouble,'r')%menampilkan sinyal ydouble sebagai
                    %fungsi waktu t
xlabel('waktu t (detik)');%memberikan komentar pada
                           %sumbu datar gambar
ylabel('amplituda');%memberikan komentar pada sumbu
                           %tegak gambar
axis([0 2 -1 1]);%membatasi sumbu datar dengan nilai 0

```

*%sampai 2 dan sumbu tegak dengan nilai
% -1 sampai 1
grid on %menampilkan garis putus-putus grafik*

Akan muncul perubahan terhadap gambar 4.1 sebelumnya menjadi gambar 4.2 berikut:



Gambar 4.2 Sinyal modulasi AM-DSB-SC dan Sinyal Informasi

Untuk setiap baris perintah yang diketik, perhatikanlah pengaruhnya terhadap perubahan gambar output, sehingga anda dapat mengerti fungsi tiap perintah diatas. Sekali lagi, kembali coba anda jelaskan fungsi perintah *amod*, *xlabel*, *ylabel*, *axis* dan *grid on* pada diri anda sendiri..

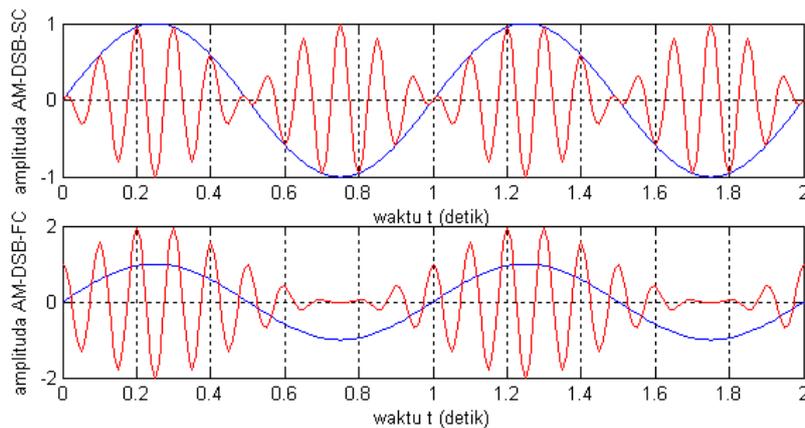
4.3 Menghasilkan sinyal AM-DSB-FC

1. Ketikkan perintah berikutnya pada *command prompt*
Matlab
`ydoubletc = amod(x,Fc,Fs,'amdsb-tc',1);%memodulasi x
%dengan am-dsb-fc
subplot(3,1,2);%menghasilkan 3 gambar dalam 1 jendela,
%untuk jendela ke-2
plot(t,x); %memplot sinyal x terhadap t
hold on %menampilkan sinyal x sebagai fungsi waktu t
xlabel('waktu t (detik)'); %memberikan komentar pada
% sumbu datar gambar
ylabel('amplituda AM-DSB-FC'); %memberikan komentar`

```

        %pada sumbu tegak gambar
        plot(t,ydoubletc,'r');%menampilkan sinyal ydoubletc
        % sebagai fungsi waktu t, berwarna merah
        axis([0 2 -2 2]);%membatasi sumbu datar dengan nilai 0
        %sampai 2 dan sumbu tegak dengan nilai -1 sampai 1
        grid on; %menampilkan garis putus-putus grafik
    
```

Akan muncul gambar ke-2 dibawah gambar pertama pada gambar 4.2 seperti yang ditunjukkan gambar 4.3 berikut:



Gambar 4.3 Gambar Sinyal Modulasi AM-DSB-SC dan AM-DSB-FC

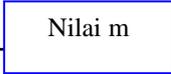
Agar kalimat pada sumbu tegak gambar tidak saling berhimpit, coba klik tombol maximize  pada sudut kanan atas jendela gambar.

4.4 Menghasilkan sinyal AM-SSB

1. Perhatikan gambar kedua, gambar ini merupakan gambar sinyal termodulasi AM-DSB-FC, dapatkah anda jelaskan

perbedaannya dengan gambar diatas (sinyal termodulasi AM-DSB-SC)?

2. Cobalah ubah-ubah nilai m untuk nilai m=0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8,0.9, pada perintah `ydoubletc = amod(x,Fc,Fs,'amdsb-tc',1)`;

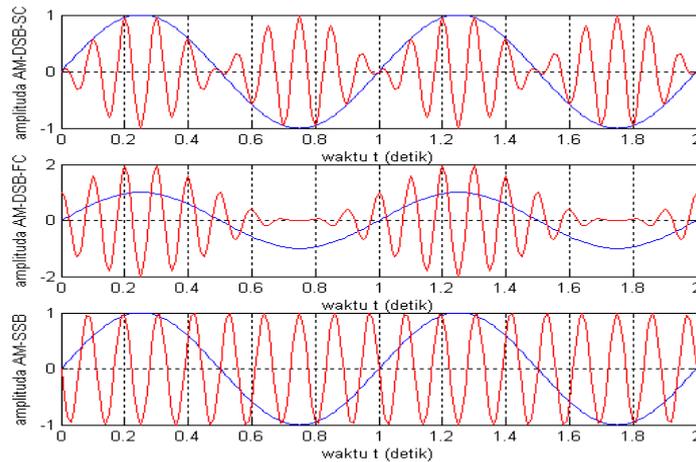


Nilai m

3. Dapatkah anda lihat pengaruhnya terhadap sinyal yang dihasilkan ? Coba jelaskan!
4. Ketikkan perintah berikutnya pada *command prompt* Matlab

```
ysingle = amod(x,Fc,Fs,'amssb');%memodulasi x dengan
                                     %metode am-ssb
subplot(3,1,3);%menghasilkan 3 gambar dalam 1 jendela
plot(t,x); hold on %menampilkan sinyal x sebagai fungsi
                                     %waktu t
xlabel('waktu t (detik)'); %memberikan komentar pada
                                     %sumbu datar gambar
ylabel('amplituda AM-SSB'); %memberikan komentar pada
                                     %sumbu tegak gambar
plot(t,ysingle,'r');%menampilkan sinyal ysingle sebagai
                                     %fungsi waktu t, berwarna merah
axis([0 2 -1 1]);%membatasi sumbu datar dengan nilai 0
                                     %sampai 2 dan sumbu tegak dengan nilai -1 sampai 1
grid on %menampilkan garis putus-putus grafik
```

Akan muncul gambar ke-3 dibawah gambar pertama dan kedua seperti ditunjukkan gambar 4.4 sebagai berikut:



Gambar 4.4 Sinyal Modulasi AM-DSB-SC, AM-DSB-FC, AM-SSB

- Perhatikan gambar ketiga gambar ini merupakan gambar sinyal termodulasi AM-DSB-SC, dapatkah anda jelaskan perbedaannya dengan dua gambar di atasnya (sinyal termodulasi AM-DSB-SC dan AM-DSB-FC)?

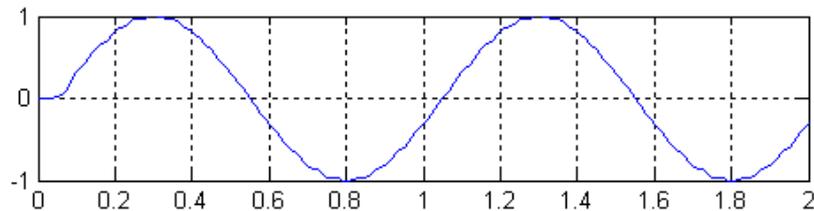
4.5 Demodulasi AM-DSB-SC

- Ketikkanlah perintah berikut:


```

z1 = ademod(ydouble,Fc,Fs,'amdsb-sc');%melakukan
      %demodulasi sinyal AM-DSB-SC
figure %membuat jendela gambar yang baru
subplot(3,1,1);%menghasilkan 3 gambar dalam 1 jendela
plot(t,z1); %menampilkan sinyal hasil demodulasi sebagai
      %fungsi waktu t
hold on; %menahan gambar sinyal z1
axis([0 2 -1 1]);%membatasi sumbu datar dengan nilai 0
      %sampai 2 dan sumbu tegak dengan nilai -1 sampai 1
grid on; %menampilkan garis putus-putus grafik
      
```

2. Jika anda melakukan perintah diatas dengan benar, maka akan muncul gambar 4.5 berikut:



Gambar 4.5 Sinyal Demodulasi AM-DSB-SC

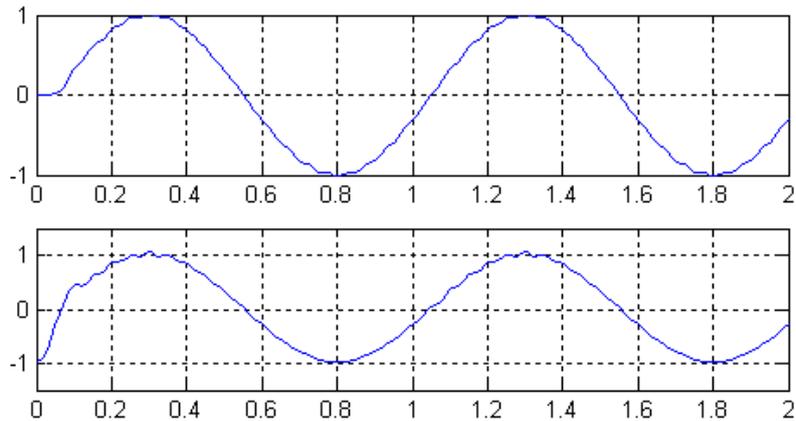
Coba anda bandingkan sinyal hasil demodulasi AM-DSB-SC ini dengan sinyal informasi asli (sinyal x), adakah perbedaan? Coba anda jelaskan jika ada perbedaan atau tidak ada perbedaan!

4.6 Demodulasi AM-DSB-FC

1. Ketikkan perintah selanjutnya berikut ini:


```
z2 = ademod(ydoubletc,Fc,Fs,'amdsb-tc');%melakukan
      %demodulasi sinyal AM-DSB-SC
      subplot(3,1,2);%menghasilkan 3 gambar dalam 1 jendela,
      %untuk jendela ke-2
      plot(t,z2); %menampilkan sinyal hasil demodulasi sebagai
      %fungsi waktu t
      axis([0 2 -1.5 1.5]);%membatasi sumbu datar dengan nilai
      %0 sampai 2 dan sumbu tegak dengan nilai -1 sampai 1
      grid on; %menampilkan garis putus-putus grafik
```

Akan muncul gambar kedua dibawah gambar pertama pada gambar 4.5 sehingga menjadi gambar 4.6 seperti berikut:



Gambar 4.6 Sinyal Demodulasi AM-DSB-SC dan AM-DSB-FC

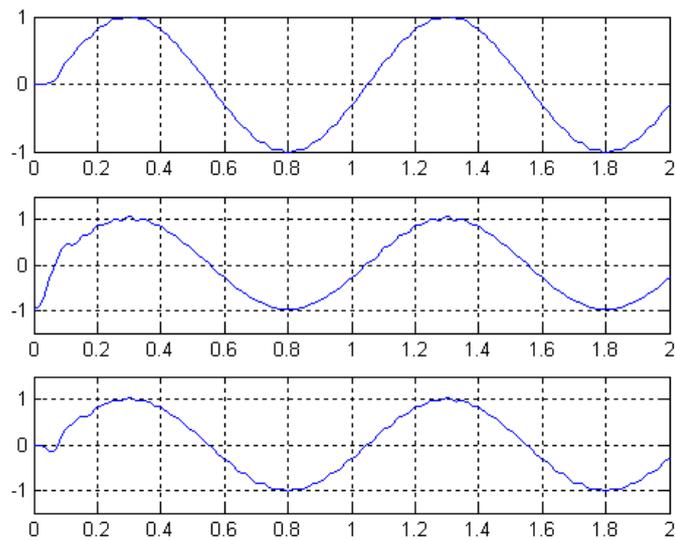
Coba bandingkan sinyal informasi (sinyal x) hasil demodulasi AM-DSB-SC (atas) dengan sinyal informasi (sinyal x) hasil demodulasi M-DSB-FC (bawah), manakah sinyal yang lebih mendekati sinyal informasi asli?

4.7 Demodulasi AM-SSB

1. Ketikkan perintah selanjutnya berikut ini:


```
z3 = ademod(ysingle,Fc,Fs,'amssb');%melakukan
      %demodulasi sinyal AM-DSB-SC
      subplot(3,1,3);%menghasilkan 3 gambar dalam 1 jendela,
      %untuk jendela ke-3
      plot(t,z3); %menampilkan sinyal hasil demodulasi sebagai
      %fungsi waktu t
      axis([0 2 -1.5 1.5]);%membatasi sumbu datar dengan nilai
      %0 sampai 2 dan sumbu tegak dengan nilai -1 sampai 1
      grid on; %menampilkan garis putus-putus grafik
```

Akan muncul gambar ke-3 dibawah gambar pertama dan kedua pada gambar 4.6 menjadi gambar 4.7 sebagai berikut:



Gambar 4.7 Sinyal Demodulasi AM-DSB-SC, AM-DSB-FC, AM-SSB

Dari ketiga gambar diatas dapatkah anda menyimpulkan metode modulasi AM yang mana yang lebih baik (dari sisi kemiripan sinyal informasi yang didemodulasi di penerima AM)!

Latihan

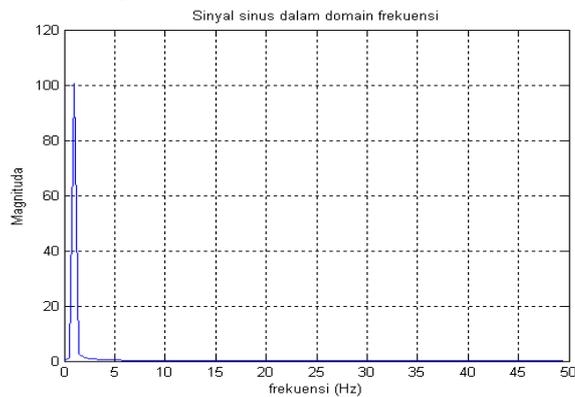
1. Buatlah program untuk menghasilkan sinyal sinus selama 4 detik, dengan frekuensi sampling $F_s=150$ dan frekuensi carrier $F_c=20$
2. Buat program jika sinyal sinus pada soal no 1 dimodulasi AM-DSB-FC untuk nilai $m=0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9$ dan 1
3. Buat program jika sinyal sinus pada soal no 1 dimodulasi AM-DSB-SC
4. Buat program jika sinyal sinus pada soal no 1 dimodulasi AM-SSB


```

...(xfrekuensi)/2;
%menghasilkan frekuensi yang bersesuaian
plot(frekuensi,xfrekuensi);%memplot spektrum xfrekuensi
grid on;%menampilkan garis putus-putus pada gambar
xlabel('frekuensi (Hz)');%memberikan label untuk sumbu x
ylabel('Magnituda');% memberikan label untuk sumbu y

```

Jika anda melakukan perintah diatas dengan benar maka akan muncul gambar 5.1 berikut:



Gambar 5.1 Spektrum Sinyal Informasi

Dari percobaan ini, dapatkah anda mengambil kesimpulan berapakah frekuensi dari sinyal sinus yang baru saja anda buat?

Dari gambar yang dihasilkan dan program yang barusan dibuat dapatkah anda menerangkan apa yang barusan anda buat?

Jelaskan juga fungsi perintah yang telah anda ketikkan barusan yaitu:

```

xfrekuensi = fft(x);%mengubah domain waktu ke frekuensi
                % menggunakan fft
xfrekuensi=abs(xfrekuensi(1:length(xfrekuensi)/2+1));
                %mengabsolutkan nilai xfrekuensi

```

```

frekuensi=[0:length(xfrekuensi)-1]*Fs/length
...(xfrekuensi)/2; % menghasilkan frekuensi yang
%bersesuaian

```

5.2 Spektrum Frekuensi Sinyal AM-DSB-SC

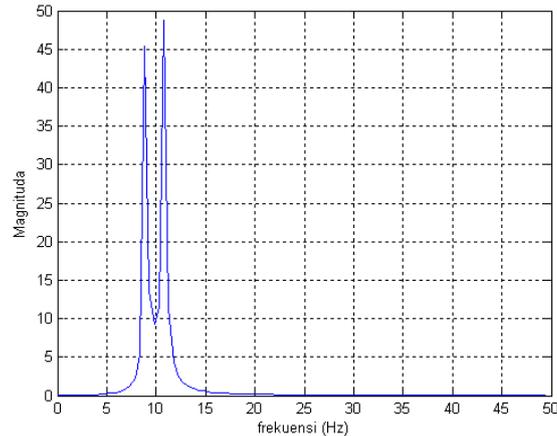
1. Ketikkan perintah berikutnya pada command prompt Matlab seperti berikut:

```

Ydouble = amod(x,Fc,Fs,'amdsb-sc');%melakukan
%modulasi AM-DSB-SC
zdouble = fft(ydouble);% Mengubah nilai AM-DSB-SC ke
%domain frekuensi
zdouble=abs(zdouble(1:length(zdouble)/2+1));
%mengabsolutkan nilai zdouble
frqdouble = [0:length(zdouble)-1]*Fs/length(zdouble)/2;
% menghasilkan frekuensi yang bersesuaian
plot(frqdouble,zdouble); %memplot spektrum zdouble
grid on;%menampilkan garis putus-putus pada gambar
xlabel('frekuensi (Hz)');%memberikan label untuk sumbu x
ylabel('Magnituda');% memberikan label untuk sumbu y

```

Jika anda melakukan perintah diatas dengan benar, maka akan muncul gambar 5.2 berikut:



Gambar 5.2 Spektrum Sinyal AM-DSB-SC

Dari gambar yang dihasilkan dan program yang barusan dibuat dapatkah anda menerangkan apa yang barusan anda buat?

Dari percobaan ini, dapatkah anda mengambil kesimpulan berapakah frekuensi dari sinyal AM-DSB-SC yang barusan anda buat?

Jelaskan apa yang dilakukan oleh perintah berikut:

```
ydouble = amod(x,Fc,Fs,'amdsb-sc');%melakukan modulasi
%AM-DSB-SC
```

5.3 Spektrum Frekuensi Sinyal AM-DSB-FC

1. Ketikkan perintah berikutnya pada command prompt Matlab

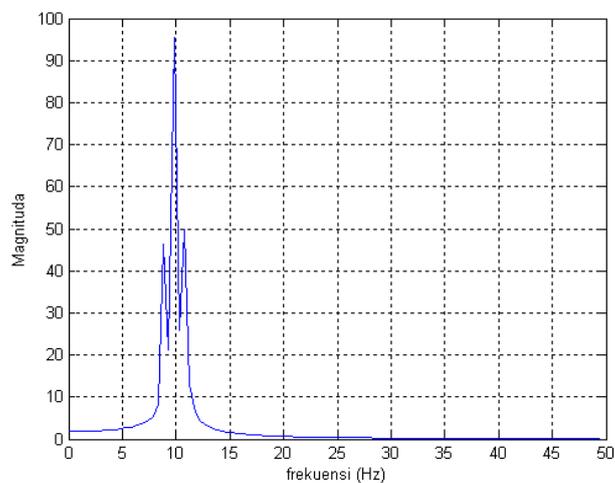
```
ydoubletc=amod(x,Fc,Fs,'amdsb-tc');%melakukan
%modulasi AM-DSB-FC
zdoubletc = fft(ydoubletc);% Mengubah nilai
%AM-DSB-SC ke domain frekuensi
zdoubletc = abs(zdoubletc(1:length(zdoubletc)/2+1));
% mengabsolutkan nilai zdoubletc
frqdouble=[0:length(zdoubletc)-1]*Fs/length(zdoubletc)/2;
% menghasilkan frekuensi yang bersesuaian
```

```

plot(frqdouble,zdouble); %memplot spektrum zdouble
grid on;%menampilkan garis putus-putus pada gambar
xlabel('frekuensi (Hz)');%memberikan label untuk sumbu x
ylabel('Magnituda');% memberikan label untuk sumbu y

```

Akan muncul gambar 5.3 seperti berikut:



Gambar 5.3 Spektrum Sinyal AM-DSB-FC

Dari gambar 5.3 yang dihasilkan dan program yang barusan dibuat dapatkah anda menerangkan apa yang barusan anda buat?

Dari percobaan ini, dapatkah anda mengambil kesimpulan berapakah frekuensi dari sinyal AM-DSB-FC yang barusan anda buat?

Jelaskan apa yang dilakukan oleh perintah berikut:

```

ydouble = amod(x,Fc,Fs,'amdsb-tc');%melakukan modulasi
          %AM-DSB-TC

```

5.4 Spektrum Frekuensi Sinyal AM-SSB

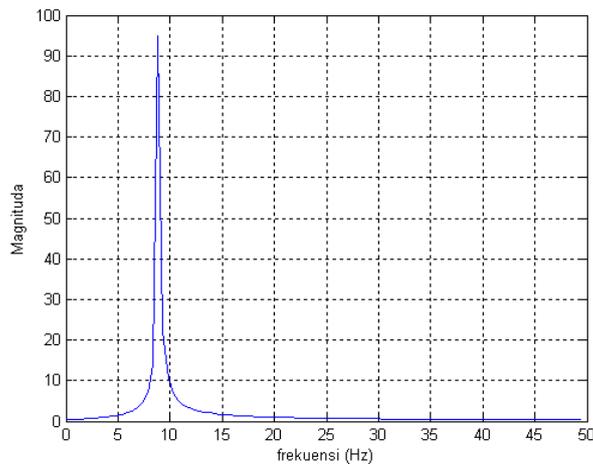
1. Ketikkan perintah berikutnya pada command prompt Matlab

```

ysingle = amod(x,Fc,Fs,'amssb');%melakukan modulasi
                                %AM-SSB
zsingle = fft(ysingle);% Mengubah nilai AM-DSB-SSB ke
                                %domain frekuensi
zsingle=abs(zsingle(1:length(zsingle)/2+1));
                                %mengabsolutkan nilai zsingle
frqsingle = [0:length(zsingle)-1]*Fs/length(zsingle)/2;
% menghasilkan frekuensi yang bersesuaian
plot(frqsingle,zsingle); %memplot spektrum zsingle
grid on;%menampilkan garis putus-putus pada gambar
xlabel('frekuensi (Hz)');%memberikan label untuk sumbu x
ylabel('Magnituda');% memberikan label untuk sumbu y

```

Akan muncul gambar 5.4 seperti berikut:



Gambar 5.4 Spektrum Sinyal AM-SSB

Dari gambar 5.4 yang dihasilkan dan program yang barusan dibuat dapatkah anda menerangkan apa yang barusan anda buat?

Dari percobaan ini, dapatkah anda mengambil kesimpulan berapakah frekuensi dari sinyal AM-SSB yang barusan anda buat?

Jelaskan apa yang dilakukan oleh perintah berikut:

```
ysingle = amod(x,Fc,Fs,'amssb');
```

%melakukan modulasi AM-SSB

Latihan

1. Buatlah program untuk menghasilkan sinyal sinus selama 4 detik, dengan frekuensi sampling $F_s=150$ dan frekuensi carrier $F_c=20$
2. Buatlah program untuk menampilkan sinyal pada no 1 dalam domain frekuensi!
3. Jika sinyal pada no 1 dimodulasi dengan teknik AM-DSB-FC, buatlah program untuk menampilkan sinyal AM-DSB-FC dalam domain frekuensi!
4. Jika sinyal pada no 1 dimodulasi dengan teknik AM-DSB-SC, buatlah program untuk menampilkan sinyal AM-DSB-SC dalam domain frekuensi!
5. Jika sinyal pada no 1 dimodulasi dengan teknik AM-SSB, buatlah program untuk menampilkan sinyal AM-SSB dalam domain frekuensi!

Modulasi FM merupakan jenis modulasi yang masih banyak digunakan baik untuk radio *broadcast* maupun siaran televisi. Tapi pada masyarakat awam, FM lebih identik sebagai siaran radio, dimana kita dapat mendengarkan siaran musik, diskusi dan drama. Dalam sejarahnya, pada tahun 1922 John Carson telah menganalisa bandwidth sistem FM dan dia tidak melihat kemampuan FM dalam menekan noise. Saat itu dia mengatakan bahwa terdapat distorsi yang unik dalam sistem FM, karenanya FM tidak memiliki kelebihan apapun, maka sejak itu pengembangan sistem FM dihentikan. Setelah pada tahun 1936 EH Amstrong menemukan sifat menekan noise pada teknik FM dan merancang modulator FM berdasarkan PM, maka sejak itu FM terus dikembangkan.

Dibandingkan dengan modulasi amplituda, modulasi FM memiliki keuntungan-keuntungan yaitu:

1. Meningkatkan *Signal To Noise Ratio* (SNR). Beberapa percobaan telah menunjukkan peningkatan SNR sebesar 25 dB pada sinyal FM dibandingkan sinyal AM dengan

- sumber noise yang sama yaitu letupan busi automobile, pembangkitan sinar-x, dan noise buatan manusia yang lain
2. daya pancar yang dibutuhkan untuk mendapatkan SNR yang sama dengan sinyal AM adalah lebih kecil
 3. peralatan pemancar lebih efisien. Proses modulasinya diletakkan pada bagian daya level rendah (low level modulation), sehingga tidak memerlukan daya pemodulasi yang besar

Selain keuntungan-keuntungan diatas, FM juga mempunyai beberapa kerugian:

1. Gelombang FM memerlukan bandwidth yang besar, diatas 20 kali yang dibutuhkan AM
2. Sistem-sistem FM lebih rumit dari sistem AM

Dalam modulasi amplitudo, komponen-komponen spektral dari sinyal termodulasi adalah merupakan penjumlahan atau pengurangan antara frekuensi carrier dan frekuensi sinyal pemodulasi. Sedangkan dalam FM, komponen-komponen spektral dari sinyal termodulasi hubungannya dengan frekuensi sinyal pemodulasi tidaklah sederhana. Lebih lanjut dikatakan, tidak terjadi superposisi. Sehingga disebut modulasi non-linear dan bandwidth dari sinyal termodulasi FM biasanya lebih besar daripada dua kali sinyal pemodulasi.

FM digunakan dalam lima sistem utama, yaitu:

1. FM broadcast (siaran), dari 88 hingga 108 MHz, lebar tiap kanal adalah 200 KHz , yang merupakan pemancar-pemancar FM
2. sistem televisi, sinyal video dimodulasi amplituda, tapi suara dipancarkan menggunakan pemancar lain dan dimodulasi frekuensi
3. Dalam sistem komunikasi satelit, sinyal-sinyal TV atau sinyal video dan sinyal suara, keduanya dipancarkan menggunakan wideband FM, baik dari bumi ke satelit atau sebaliknya

4. narrowband FM digunakan dalam pelayanan umum ataupun khusus yang mana hanya memancarkan sinyal suara saja (misalnya taxi, polisi, PMK dan lain sebagainya)
5. dalam radio amatir, *narrowband* FM digunakan untuk sinyal-sinyal suara.

6.1 Persamaan Matematika Gelombang Sinyal FM dalam domain waktu

Jika sinyal carrier dinyatakan pada persamaan 6.1 dan $x(t)$ adalah sinyal informasi maka persamaan sinyal FM umum dituliskan pada persamaan 6.2 sebagai berikut:

$$x_c(t) = A_c \cos w_c t \quad (6.1)$$

$$s(t) = A_c \cos ((w_c + K_f x(t))t) \quad (6.2)$$

Frekuensi sinyal FM pada suatu saat t dapat dinyatakan pada persamaan 6.3 berikut:

$$w(t) = w_c + K_f x(t) \quad (6.3)$$

Kita dapat menurunkan persamaan 6.3 menjadi bentuk lanjut seperti persamaan 6.4 berikut:

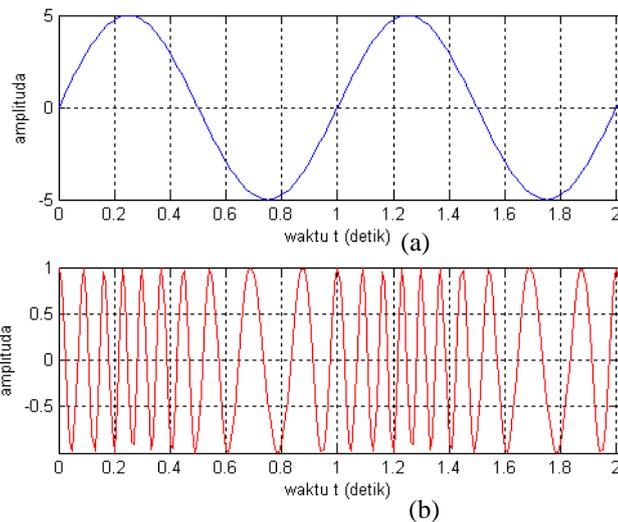
$$f(t) = f_c + K_f x(t) \quad (6.4)$$

Dari persamaan 6.4 maka kita dapat mengamati bahwa K_f adalah nilai koefisien modulasi yang nilainya menentukan nilai frekuensi sinyal FM pada suatu saat t .

Dari persamaan 6.4 juga dapat kita lihat bahwa karena FM merupakan modulasi frekuensi, maka sinyal informasi $x(t)$ ditumpangkan ke dalam frekuensi dari sinyal termodulasi. Sehingga, perubahan nilai $x(t)$ akan menentukan perubahan frekuensi dari sinyal termodulasi.

Gambar 6.1 memperlihatkan pengaruh amplituda sinyal informasi terhadap perubahan frekuensi dari sinyal FM. Ketika nilai amplituda sinyal informasi meningkat maka frekuensi sinyal FM juga akan meningkat. Peningkatan frekuensi sinyal FM ini ditunjukkan dengan semakin rapatnya gelombang sinyal FM pada gambar 6.1b. sebaliknya ketika nilai amplituda

sinyal informasi berkurang maka frekuensi sinyal FM juga akan turun. Penurunan nilai frekuensi sinyal FM ini ditunjukkan dengan semakin renggangnya gelombang sinyal FM pada gambar 6.1b.



Gambar 6.1 Gelombang pemodulasi dan gelombang FM

6.2 Kasus Sinyal FM untuk sinyal pemodulasi sinus

Analisa spektrum sinyal FM melibatkan matematika yang sangat rumit. Karenanya, dalam pembahasan selanjutnya, kita akan berusaha menyederhanakan pembahasan kita dengan mengumpamakan sinyal informasi atau sinyal pemodulasi sebagai sinyal sinus. Bahkan untuk sinyal pemodulasi yang sederhana seperti sinyal pemodulasi gelombang sinus inipun, matematika yang digunakan untuk melihat spektrum frekuensi sinyal FM masih cukup rumit.

Oleh karena itu, dalam pembahasan ini kita akan berusaha menyederhanakan fungsi Bessel yang kita gunakan. Karena buku ini ditujukan untuk mahasiswa tingkat sarjana, maka kita nanti tidak akan melakukan penurunan rumus fungsi

Bessel, tetapi lebih kepada bagaimana menggunakan fungsi Bessel untuk mencari spektrum frekuensi sinyal FM.

Anggaplah sinyal *carrier* pada modulasi FM sebagai berikut:

$$x_c(t) = A_c \sin(\omega_c t + \theta_0) \quad (6.5)$$

$$\omega_c = 2\pi f_c = \text{Frekuensi sudut carrier}$$

$$\theta_0 = \text{Phase awal}$$

Dan sinyal pemodulasi adalah:

$$x(t) = A_x \cos(\omega_s t)$$

$$\omega_s = 2\pi f_s : \text{Frekuensi sudut sinyal pemodulasi}$$

Frekuensi sesaat dari gelombang FM, f_i digambarkan oleh (frekuensi carrier f_c + perubahan frekuensi sesuai dengan sinyal pemodulasi $k_f e_s$):

$$f_i = f_c + K_f x(t)$$

$$f_i = f_c + K_f A_x \cos \omega_s t$$

$$f_i = f_c + \Delta f \cos \omega_s t \quad (6.2)$$

Dimana:

$$\Delta f = K_f A_x \quad [\text{Hz}] = \text{deviasi frekuensi maksimum}$$

Dan K_f [Hz/V] adalah konstanta yang menunjukkan rasio bahwa bagaimana sinyal pemodulasi mengubah-ubah frekuensi. Δf disebut deviasi frekuensi maksimum dan ini berarti bahwa frekuensi carrier naik hingga $f_c + \Delta f$ bila amplitudo sinyal pemodulasi maksimum, yaitu $\cos \omega_s t = 1$ dan frekuensi carrier turun hingga $f_c - \Delta f$ bila amplitudo sinyal pemodulasi minimum yaitu $\cos \omega_s t = -1$. jika Δf lebih besar, maka perubahan frekuensi juga lebih besar. Gambar 6.1 berikut memperlihatkan perubahan frekuensi tersebut

Jika Δf lebih besar, maka perubahan frekuensi juga lebih besar. Gambar 6.1 menunjukkan perubahan frekuensi tersebut. Dengan mengalikan persamaan 6.2 dengan 2π , frekuensi sudut sesaat didapatkan :

$$w_i = 2\pi(f_c + \Delta f \cos w_s t)$$

$$w_i = w_c + \Delta w \cos w_s t$$

$$\text{Dimana } \Delta w = 2\pi\Delta f$$

Jika frekuensi angularnya tetap, maka sudut yang telah dilalui selama t (detik) dapat dengan mudah ditemukan dengan mengalikan frekuensi angular t detik. Namun jika frekuensi angular berubah-ubah setiap saat, maka harus dilakukan integrasi untuk mendapatkan sudut yang sudah dilalui. Sudut yang sudah dilalui dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \theta(t) &= \int_{\theta}^t w_i dt = \int_{\theta}^t (w_c + \Delta w \cos w_s t) dt \\ &= w_c t + m_t \sin w_s t \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$\text{Dimana } m_t = \frac{\Delta w}{w_s} = \frac{\Delta f}{f_s} (\text{radian}) = \text{indeks modulasi}$$

$$(3.4)$$

Jadi gelombang FM pada waktu t detik didapatkan:

$$s_{FM}(t) = A_c \sin(w_c t + m_t \sin w_s t + \theta_0) \quad (3.5)$$

Nilai θ_0 pada persamaan 3.5 biasanya bernilai nol, sehingga:

$$s_{FM}(t) = A_c \sin(w_c t + m_t \sin w_s t) \quad (3.6)$$

6.3 Rasio Deviasi

Rasio deviasi dinyatakan sebagai perbandingan antara deviasi frekuensi maksimum dan frekuensi sinyal pemodulasi, yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$\delta = \frac{\Delta f}{f_{smaks}} [\text{radians}] = \text{rasio deviasi} \quad (3.7)$$

Dimana f_{smaks} adalah frekuensi maksimum sinyal pemodulasi. Rasio deviasi menyatakan indeks modulasi terburuk dan digunakan untuk menentukan bandwidth terburuk untuk sebuah pemancar tertentu. Sebagai contoh, FM broadcast memiliki rasio deviasi sebesar 5 (75KHz/15 KHz). Dari tabel fungsi bassel, didapatkan bahwa sinyal FM ini dengan indeks modulasi 5 memiliki upper sideband 8 dan lower sideband 8 yang masing-masing terpisah sejauh 15 KHz, dengan amplitudo lebih dari 0,01. Karena itu, bandwidth sinyal ini adalah $2 \times 8 \times 15 \text{ KHz} = 240 \text{ KHz}$. Sinyal yang melampaui bandwidth yang diizinkan (200 KHz) dan menyebabkan interferensi pada kanal yang berdekatan. Namun demikian, bila kita memperhatikan dua hal berikut, maka masalah di atas tidaklah terlalu serius.

1. persentase kemunculan dimana frekuensi maksimum sinyal informasi ada, adalah kecil, sekalipun ada, amplitudonya kecil sekali
2. sekalipun kondisi di atas terjadi, daya dari kedua sideband yang paling tepi (baik sideband atas ataupun bawah) besarnya kurang dari 5 % dari daya total yang ditransmisikan.

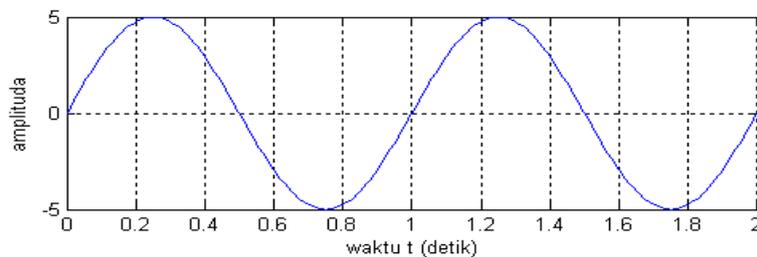
6.4 Persen Modulasi

Dalam modulasi amplitudo, indeks modulasi dan persen modulasi adalah sama dan hanya berbeda satuan, tetapi di dalam modulasi frekuensi (FM, persen modulasi adalah berbeda dengan indeks modulasi. Persen modulasi dijelaskan sebagai:

$$\beta = \frac{\Delta f \text{ sebenarnya}}{\Delta f \text{ maksimum}} \times 100\% \text{ : persen modulasi} \quad (3.8)$$


```
axis([min(t) max(t) min(x) max(x)]);%membatasi sumbu
%datar dengan nilai minimal t dan maximal t serta sumbu
%tegak dengan nilai minimal x dan nilai maximal x
grid on %menampilkan garis putus-putus grafik
```

3. Jika anda melakukan perintah diatas dengan benar, maka akan muncul gambar 7.1 berikut:



Gambar 7.1 Sinyal Informasi

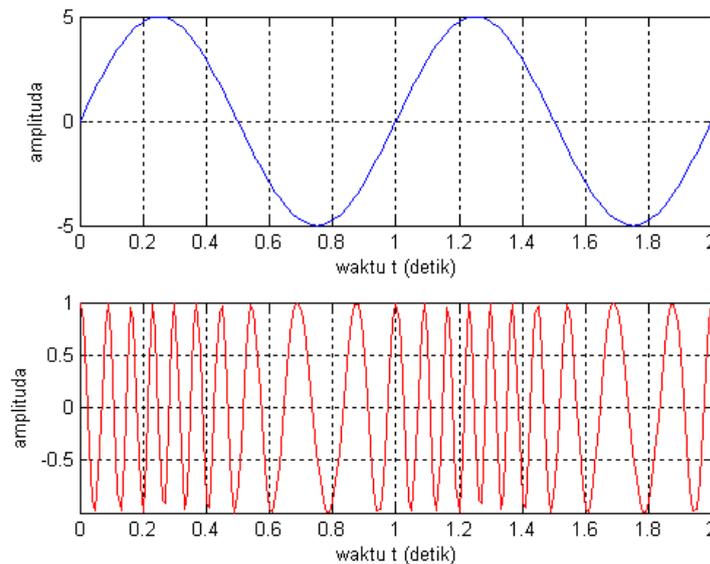
7.2 Sinyal FM

1. Ketikkan perintah berikutnya pada command prompt Matlab


```
yfm = amod(x,Fc,Fs,'fm',1); %modulasi FM
subplot(3,1,2);%menghasilkan 2 gambar dalam 1 jendela
plot(t,yfm,'r')%menampilkan sinyal yfm
%sebagai fungsi waktu t
xlabel('waktu t (detik)');%memberikan komentar pada
%sumbu datar gambar
ylabel('amplituda');%memberikan komentar pada sumbu
%tegak gambar
axis([min(t) max(t) min(yfm) max(yfm)]);
%membatasi sumbu datar dengan nilai minimal t dan
%maximal t serta sumbu tegak dengan nilai
%minimal x dan nilai maximal x
```

grid on %menampilkan garis putus-putus grafik

Akan muncul perubahan terhadap gambar 7.1 sebelumnya menjadi gambar 7.2 seperti berikut:



Gambar 7.2 Sinyal Informasi dan Sinyal FM

Dari gambar 7.2 yang baru saja anda dapatkan dapatkah anda menjelaskan sinyal apa yang baru saja anda tampilkan?

Coba anda jelaskan apa yang dilakukan oleh perintah berikut:

```
yfm = amod(x,Fc,Fs,'fm',1); %modulasi FM
```

7.3 Spektrum Sinyal FM

1. Ketikkan perintah berikutnya pada command prompt Matlab

```
yfmfrekuensi =fft(yfm);%mengubah domain waktu ke  
%frekuensi menggunakan fft
```

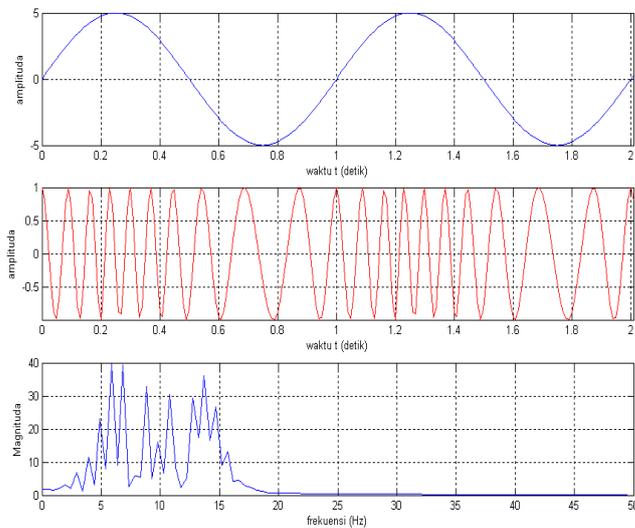
```

yfmfrekuensi =
abs(yfmfrekuensi(1:length(yfmfrekuensi)/2+1));
%mengabsolutkan nilai yfmfrekuensi
frekuensi = [0:length(yfmfrekuensi)-1]*Fs/length
...(yfmfrekuensi)/2; % menghasilkan frekuensi yang
%bersesuaian

subplot(3,1,3);
plot(frekuensi,yfmfrekuensi);%memplot spektrum
%yfmfrekuensi
grid on;%menampilkan garis putus-putus pada gambar
xlabel('frekuensi (Hz)');%memberikan label untuk sumbu x
ylabel('Magnituda');% memberikan label untuk sumbu y

```

Jika anda menyetikkan perintah diatas dengan benar, maka anda akan mendapatkan gambar ketiga setelah 2 gambar pada gambar 7.2 menjadi gambar 7.3 sebagai berikut.



Gambar 7.3 Sinyal Informasi , Sinyal FM, dan Spektrum Sinyal FM

Dari gambar yang baru saja anda dapatkan, dapatkan anda menjelaskan perintah apa yang barusan anda ketik dan gambar apa yang baru saja anda dapatkan?

Latihan

1. Buatlah program untuk menghasilkan sinyal sinus selama 4 detik dengan amplitudo sinyal 4, dengan frekuensi sampling $F_s=150$ dan frekuensi carrier $F_c=20$
2. Buat program jika sinyal sinus pada soal no 1 dimodulasi FM dan tampilkan sinyal FM-nya!
3. Buat program jika sinyal pada soal no 2 ditampilkan dalam domain frekuensi

DAFTAR PUSTAKA

1. Carl Nassar, *“Telecommunications Demystified, A Streamlined Course in Digital Communications (and some Analog) for EE Students and Practicing Engineers”* LLH Technology Publishing, 2001
2. R. E. Ziemer, William H. Tranter, *“Principles of Communication 5Ed”*.
3. Dr. Ir. Suhana, Shigeki Shoji, *“Buku Pegangan Teknik Telekomunikasi”*, Pradnya Paramita, 2004
4. PH Smale, *“Sistem Telekomunikasi”* Erlangga, 1996
5. Dennis Roddy, John Coolen, Kemal Idris, *“Komunikasi Elektronika”*, Erlangga, 1984
6. Nonot Harsono, *Sistem dan Elektronika Telekomunikasi*, Erlangga, 2000
7. Gibson, Jerry. D., *The Communications Handbook second edition*, CRC Press LLC, 2002
8. Flood, J.E., *Telecommunication Switching, Traffic and Network*, Prentice Hall, 1994
9. Andrew Leven, *“Telecommunication Circuit and Technology”*, Butterworth-Heilemenen, 2000