

PERANCANGAN DAN REALISASI PERANGKAT PANCAR-TERIMA FM-DIRECT SEQUENCE SPREAD SPRECTRUM PADA FREKUENSI 40 MHz

Andi Andriana¹, Heroe Wijanto², Budianto³

¹Divisi Core Network Engineering - PT Telekomunikasi Seluler (Telkomsel)

²Program Magister Teknik Telekomunikasi - Sekolah Tinggi Teknologi Telkom, Bandung

³Jurusan Teknik Elektro - Sekolah Tinggi Teknologi Telkom, Bandung

¹andi_andriana@telkomsel.co.id, ²hrw@stelkom.ac.id, ³bud@stttelkom.ac.id

Abstrak

Penelitian ini telah menghasilkan perangkat pancar-terima FM-DSSS (*Frequency Modulation – Direct Sequence Spread Spectrum*). Pemancar meliputi LPF 4 kHz, proses modulasi FM Pita Sempit berlebar pita 8 KHz pada frekuensi pembawa 40 MHz, sinyal pembawa termodulasi frekuensi mengalami penebaran ke lebar pita 2 MHz oleh sinyal kode acak semu, daya pemancar 1,37 Watt. Sedangkan perangkat penerima FM-DSSS meliputi *pre-amplifier*, *balance modulator*, *Phase Lock Loop (PLL)* dan penerima FM *Super-heterodyne* konversi ganda pada frekuensi IF 455 kHz. *Processing Gain* sistem ini diperoleh sebesar 261,1 atau 24,16 dB. Dari hasil pengujian, sistem FM-DSSS ini mampu bekerja pada lingkungan *jamming* setelah menurunkan levelnya dengan cara menebarkan pada *bandwidth* cukup lebar.

Kata kunci : sistem *transceiver* FM-DSSS, FM Pita Sempit, *PLL*, penerima FM *super-heterodyne*

Abstract

This research has been realized a FM-DSSS (*Frequency Modulation – Direct Sequence Spread Spectrum*) transceiver. The transmitter consists of LPF 4 kHz, Narrow-band FM process with 8 kHz of bandwidth on 40 MHz of carrier frequency, frequency modulated carrier signal spreading to 2 MHz of bandwidth due to the pseudo random code, and spread power of 1,37 Watt. On the other hand, the FM-DSSS receiver includes *pre-amplifier*, *balance modulator*, *Phase Lock Loop (PLL)*, and double conversion *Super-heterodyne* FM working on 455 kHz of IF frequency. The *Processing Gain* of system is 261,1 or 24,16 dB. The test result shows that this FM-DSSS System is capable of working on *jamming* environment, where the level of *jamming* signal could be decreased through spreading it into a wide enough bandwidth.

Keywords: FM-DSSS transceiver system, Narrow-Band FM, *PLL*, *super-heterodyne* FM receiver

1. Pendahuluan

Sistem *Spread Spectrum* dikembangkan sejak pertengahan tahun 1950-an di bidang militer ketika dibutuhkan sistem komunikasi yang tahan terhadap interferensi dan *jamming*, aman dari penyadapan dan kemampuan akses jamak (*multiple access*). Penerapan lain teknologi *spread spectrum* adalah pada sistem komunikasi bergerak seluler *Code Division Multiple Access (CDMA)* dengan efisiensi spektral sangat tinggi.

Penelitian ini bertujuan menghasilkan perancangan dan implementasi sistem perangkat *transceiver* FM-DSSS (*Frequency Modulation – Direct Sequence Spread Spectrum*). Perangkat sistem dibuat dengan spesifikasi berikut:

- lebar pita sinyal informasi 4 kHz,
- proses modulasi FM pita sempit selebar 8 KHz,
- frekuensi pembawa 40 MHz,
- sinyal FM ditebarkan ke lebar pita 2 MHz oleh sinyal kode acak semu,
- daya pemancar 1,37 Watt,
- diskriminasi FM dengan *PLL (phase lock loop)*,
- penerima FM *Super-heterodyne* konversi ganda bekerja pada frekuensi IF 455 kHz,
- *Processing Gain* sebesar 250 atau 24 dB.

2. Sistem Transceiver FM-DSSS

Spread Spectrum adalah penebaran spektral sinyal informasi pada rentang alokasi frekuensi sangat lebar, jauh melebihi *bandwidth* minimum yang diperlukan. Pada sistem pemancar FM-DSSS, sinyal informasi termodulasi FM dimodulasi lagi oleh deretan kode penebar biner acak semu. Di penerima FM-DSSS, setelah proses sinkronisasi, dilakukan demodulasi FM untuk menghasilkan sinyal informasi kembali. Skematika sistem *transceiver* FM-DSSS ditunjukkan pada Gambar 1.

Faktor perbaikan pada sistem penerima *spread spectrum* disebut *Processing Gain (PG)*, yaitu:

$$PG = \frac{BW_{RF}}{BW_0} \quad (1)$$

dengan BW_{RF} adalah *bandwidth* sinyal *spread spectrum* yang ditransmisikan dan BW_0 adalah *bandwidth* sinyal informasi.

Performansi (S/N) penerimaan sinyal pada lingkungan *jamming (J)* dapat dihitung dari:

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{IN} (dB) = -\frac{J}{S} (dB) \quad (2)$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{OUT} (dB) = G_p (dB) - \frac{J}{S} (dB) \quad (3)$$

3. Realisasi Sistem Perangkat FM-DSSS

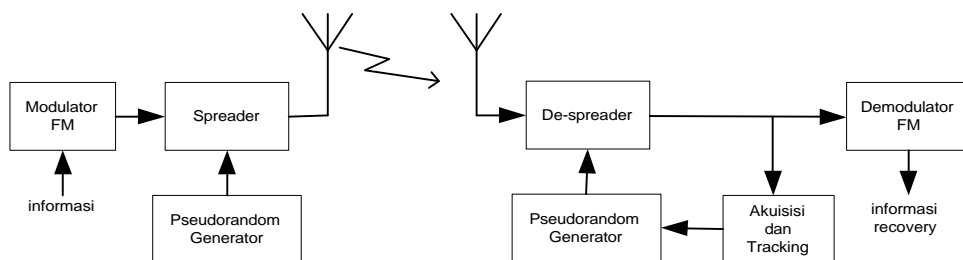
3.1 Perangkat Pemancar FM-DSSS

Fungsi setiap blok pada perangkat pemancar FM-DSSS di Gambar 2, dijelaskan sebagai berikut:

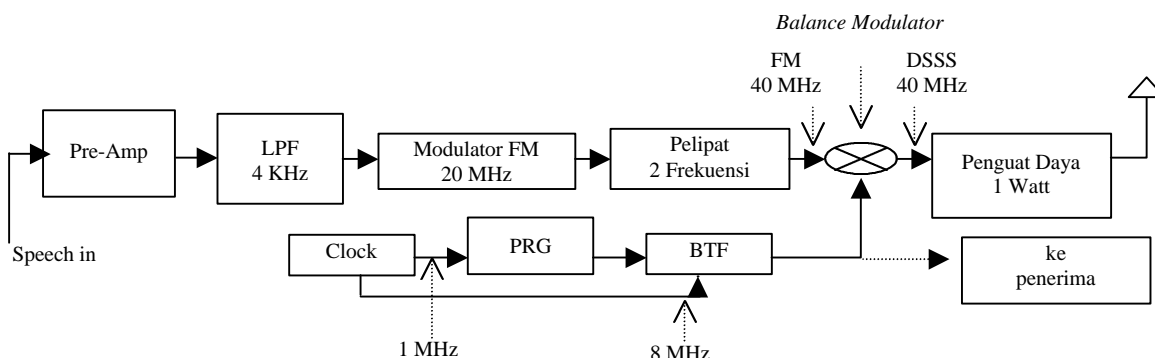
- a. **Pre-amplifier**, untuk menguatkan sinyal listrik sangat lemah yang berasal dari microphone.
- b. **LPF Aktif 4 kHz**, sebagai pembatasi lebar pita sinyal informasi. LPF aktif direalisasikan untuk frekuensi *cut off* 4 kHz dan redaman 25 dB pada 8 kHz (orde 4) dengan IC Motorola MC1741.
- c. **Modulator FM 20 MHz**, adalah pembangkit sinyal pembawa 20 MHz yang juga berfungsi sebagai modulator FM pita sempit. Osilator

direalisasikan dalam rangkaian *Colpitts* dengan transistor Motorola 2N2222A dan pengendali kristal 20 MHz, dengan modulator reaktansi melalui dioda varaktor MV2105.

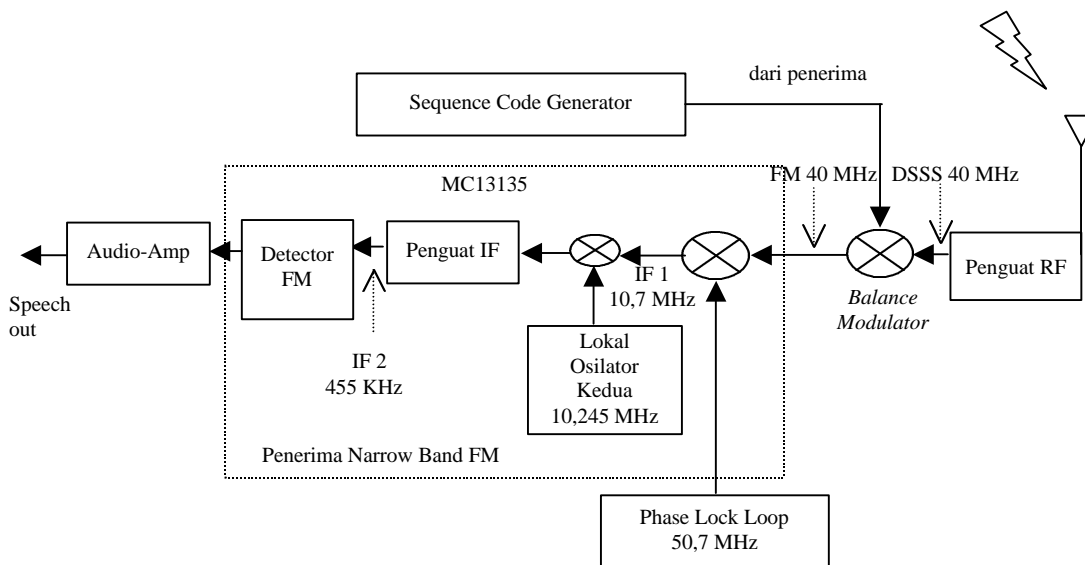
- d. **Pelipat 2 Frekuensi**, adalah penghasil sinyal pembawa 40 MHz dari masukan sinyal 20 MHz. Rangkaian pelipat 2 frekuensi direalisasikan dengan penguat tertala dua tingkat dari transistor 2SC2026 yang memiliki $f_T = 2$ GHz..
- e. **Balance Modulator**, merupakan *mixer* dari IC Motorola MC1946, sebagai *spreader* sinyal pembawa termodulasi FM dengan sinyal kode penyebar dari PRG yang telah diubah menjadi pulsa berlebar pita terbatas oleh BTF, sehingga menghasilkan sinyal FM-DSSS.



Gambar 1. Diagram Skematik Sistem FM-DSSS



Gambar 2. Skematik Perancangan Perangkat Pemancar FM-DSSS



Gambar 3. Skematik Perancangan Perangkat Penerima FM-DSSS

- f. **Pembangkit Pulsa Detak**, menghasilkan pulsa detak 1 MHz pengendali generator kode penegar acak semu (PRG) dan 8 MHz pengendali BTF. Pembangkit pulsa detak dibangkitkan oleh kristal 16 MHz dan gerbang NAND dari IC 74LS93.
- g. **PRG (Pseudorandom Noise Generator)**, sebagai pembangkit kode acak semu MLS dengan periode $N = 2^r - 1$ bit berkecepatan 1 Mcps, direalisasikan menurut polinomial $(1+X^3+X^{10})$.
- h. **BTF (Binary Transfersal Filter)**, sebagai pembatas lebar pita sinyal kode acak semu dengan mengubah bentuk sinyal NRZ menjadi pulsa *raised cosine* waktu terbatas.
- i. **Penguat Daya**, menguatkan sinyal FM-DSSS agar memiliki daya sinyal yang cukup untuk dipancarkan, yaitu 1,37 Watt pada frekuensi 40 MHz, dengan lebar pita 2 MHz.

3.2 Perangkat Penerima FM-DSSS

Perangkat penerima FM-DSSS, seperti diperlihatkan di Gambar 3, terdiri dari beberapa bagian blok sebagai berikut:

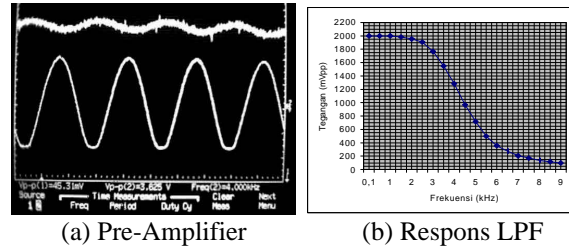
- a. **Penguat RF**
- b. **Balance Modulator**, diimplementasikan dari IC Motorola MC1946 sebagai *despreader* sinyal FM-DSSS 40 MHz oleh kode penegar lokal sinkron 1 Mcps untuk menghasilkan sinyal FM 40 MHz berpita sempit 8 kHz.
- c. **Phase Lock Loop (PLL)**, merupakan osilator lokal-I yang bertugas menghasilkan sinyal pembawa lokal 50,7 MHz. VCO (*Voltage Controlled Oscillator*) direalisasikan dengan IC MC1648 yang mampu bekerja sampai 225 MHz. Dioda varactor yang digunakan adalah MV2105 dengan kapasitansi 13,5pF–16,5pF. Detektor Fasa dan *programmable prescaler* dibuat dari IC MC145166 (*Dual PLL*).
- d. **Pencampur I**, berfungsi untuk menghasilkan frekuensi IF sebesar 10,7 MHz.
- e. **Osilator lokal II**, bertugas untuk menghasilkan sinyal berfrekuensi 10,245 MHz
- f. **Pencampur II**, berfungsi melakukan proses pencampuran sinyal keluaran pencampur I dengan osilator lokal II, sehingga dihasilkan frekuensi IF sebesar 455 kHz.
- g. **Penguat IF**, berfungsi menguatkan sinyal frekuensi IF agar memiliki daya yang cukup untuk melakukan proses deteksi sinyal FM
- h. **Detektor FM**, berfungsi untuk mendeteksi sinyal FM sehingga dapat diperoleh kembali sinyal informasinya. Detektor FM direalisasikan menggunakan IC MC13135 yang terdiri dari dua buah osilator lokal, dua buah pencampur, penguat IF dan detektor, serta penguat operasional dengan beberapa kelebihan berikut :
- frekuensi kerja hingga 200 MHz.
 - tegangan kerja rendah, yaitu 2,0 – 6,0 VDC
 - arus kerja kecil, yaitu 3,5 mA
- i. **Penguat audio**, berfungsi menguatkan sinyal audio yang berfrekuensi 20 Hz – 20 kHz.

4. Pengukuran dan Evaluasi Sistem Perangkat

4.1 Pengukuran Perangkat Pemancar FM-DSSS

4.1.1 Pre-Amplifier dan LPF

Pada frekuensi 4 kHz, Pre-Amplifier dengan level masukan 45,31 mVpp memberikan level keluaran 3,625 Vpp, sehingga diperoleh penguatan 80 kali atau 38 dB. Hasil pengamatan sinyal masukan dan keluaran Pre-Amplifier ditunjukkan di Gambar 4.a, yang juga menunjukkan Pre-Amplifier masih bersifat linier pada penguatan 38 dB.

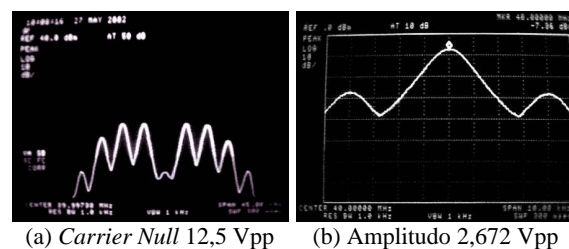


Gambar 4. Penguatan Pre-Amplifier dan Respons LPF

Pengukuran respons LPF 4 kHz dilakukan dari perubahan level keluaran ketika diberikan sinyal masukan yang dijaga konstan 2 Vpp dengan frekuensi diubah-ubah pada langkah 0,5 kHz. Respons frekuensi LPF hasil realisasi ditunjukkan pada Gambar 4.b, terlihat frekuensi *cut off* terjadi pada 3,83 kHz, lebih sempit 171,37 Hz atau 4,25% dari *cut off* yang diinginkan 4 kHz.

4.1.2 Sinyal Modulasi FM

Modulator FM diamati dengan memberi masukan sinyal pemodulasi sinusoidal 4 kHz. Gambar 5.a menunjukkan bahwa kondisi *carrier null* terjadi pada amplituda sinyal pemodulasi 12,5 Vpp, sehingga diperoleh angka sensitivitas modulator FM: $K_f = \Delta f_m / A_m = 2,4 \times 4 \text{ kHz} / (1/2 \times 12,5 \text{ V}) = 1,536 \text{ kHz/V}$.



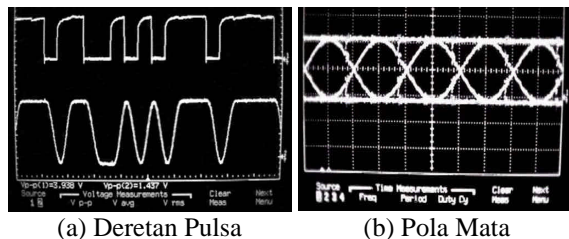
Gambar 5. Spektral sinyal FM dengan input 4 kHz

Di Gambar 5.b ditunjukkan hasil pengamatan untuk masukan modulator berupa sinyal pemodulasi sinusoidal 4 kHz beramplituda 2,672 Vpp, yang memperlihatkan lebar pita spektral sinyal FM 8 kHz.

4.1.3 Pengujian PRG dan BTF

Keluaran PRG 1 Mcps diperlihatkan pada Gambar 6.a, bagian atas sebelum difilter dan bagian

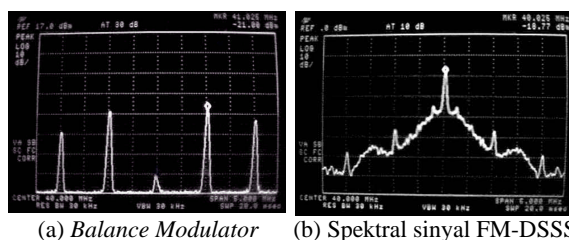
bawah sesudah difilter oleh BTF. Rangkaian PRG menggunakan shift register 10 tingkat, sehingga diperoleh periode acak-semu $2^{10} - 1 = 1023 \text{ chip}$. Gambar 6.b memperlihatkan pola mata keluaran BTF dimana tampak sinyal NRZ keluaran PRG telah diubah ke bentuk pulsa raised cosine waktu terbatas.



Gambar 5. Sinyal kode penebar acak-semu 1 Mcps

4.1.3 Spreader dan Sinyal FM-DSSS

Pengujian karakteristik *balance modulator* sebagai *spreader* dilakukan dengan memberikan sinyal sinusoidal 1 MHz dan sinyal 40 MHz dari modulator FM pada kedua masukannya. Pada Gambar 6.a diketahui level *suppressed carrier* terhadap terhadap pita sisinya adalah -30 dB , dengan kedua sisinya yang *balance* tak-sempurna.



Gambar 6. Proses Spreading (span 5 MHz)

Gambar 6.b menunjukkan spektral sinyal FM-DSSS keluaran *balance modulator* sebagai *spreader* yang sangat dominan menghasilkan *main lobe*. Ini berarti BTF sebagai pembentuk pulsa *raised cosine* bekerja sesuai rancangan. Sinyal FM-DSSS selebar dua kali *chip rate* PRG 1 Mcps, yaitu 2 MHz.

4.1.4 Penguat Daya

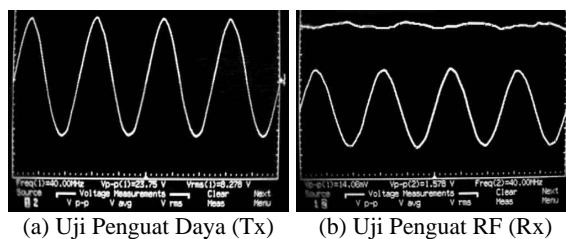
Pengujian dilakukan dengan menghubungkan seluruh tingkat penguat daya sekaligus, sehingga terukur daya pancar melalui Osiloskop, seperti terlihat pada Gambar 7.a. Penguat daya dapat memberikan penguatan yang masih linear pada keluaran 1,37 Watt.

4.2 Pengukuran Perangkat Penerima FM-DSSS

4.2.1 Penguat RF

Pengujian pada frekuensi 40 MHz menunjukkan bahwa Penguat Daya pada penerima memberikan level keluaran 1,578 Vpp ketika diberi masukan pada level 14,06 mVpp, sehingga dapat dihitung

penguatannya sebesar 112,23 atau 41 dB, seperti terlihat pada Gambar 7.b.

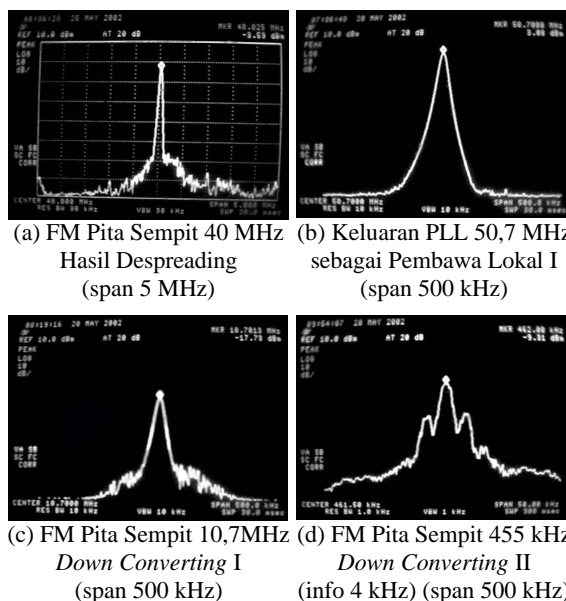


Gambar 7. Penguat Daya (Tx) dan Penguat RF (Rx)

4.2.2 Despreading dan Down Converting

Pada Gambar 8.a terlihat hasil *despreading* pada level $-3,59 \text{ dBm}$ dengan masih terdapatnya spektral sinyal kode penebar pada sisi-sisi spektral sinyal FM pita sempit. Hal ini merupakan akibat kurang sempurnanya sinkronisasi kode penebar pada sinyal FM-DSSS yang diterima dengan deretan kode penebar lokal di penerima.

PLL sebagai sumber pembawa lokal I dibangun dari osilator kristal 14,31818 MHz yang cukup stabil, kemudian dilakukan pembagian 2048 (internal IC MC145166) untuk menghasilkan frekuensi referensi 6,9 kHz. Pada Gambar 8.b terlihat keluaran VCO pada level 3,08 dBm. Keluaran VCO ini telah menunjukkan sinyal keluaran PLL yang sudah terkunci stabil pada 50,7 MHz.



Gambar 8. Hasil *Depreadding* dan *Down Converting*

Pada Gambar 8.c terlihat bahwa keluaran *Mixer-I* adalah 10,7 MHz dengan level $-17,73 \text{ dBm}$, yang merupakan selisih frekuensi sinyal FM-DSSS 40 MHz dengan osilator lokal-I 50,7 MHz. Di Gambar 8.d diperlihatkan bahwa *Mixer-II* pada 455 kHz dengan level $-12,91 \text{ dBm}$, yang merupakan selisih frekuensi keluaran *Mixer-II* 10,7 MHz dengan osilator lokal-II 10,245 MHz, kaetika diberikan sinyal pemodulasi 4 kHz.

4.3 Performansi di Lingkungan Jamming

4.3.1 Hasil *Despreading* Terganggu *Jamming*

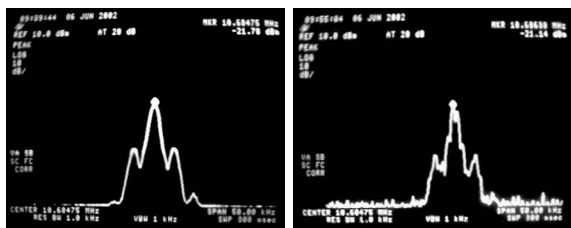
Untuk mensimulasikan lingkungan *jamming*, dipancarkan sinyal sinusoidal 40 MHz dari suatu generator bertegangan 2,063 Vpp pada jarak 25 cm dari penerima FM-DSSS. Pengamatan dilakukan ketika sinyal FM-DSSS dengan informasi 4 kHz dipancarkan pada jarak 1 meter dari penerima.

Gambar 9.a dan 9.b menunjukkan perbedaan antara sinyal hasil *despreading* tanpa dan dengan *jamming*. Pada Gambar 9.b terlihat sinyal *jamming* ditebarkan oleh kode penebar lokal pada *bandwidth* selebar 2 MHz dengan level $-65,5$ dBm, sementara level sinyal hasil *despreading* $-29,1$ dBm.

Secara perhitungan, pemancaran sinyal FM-DSSS 40 Mhz dengan daya 1,37 W atau 31,36 dBm, dengan semua *feeder* dan antenna diabaikan, dalam jarak 1 meter terjadi redaman ruang bebas 4,49 dB, sehingga diperoleh level daya terima $S = 26,87$ dBm. Sedangkan sumber *jamming* 40 MHz bertegangan 2,063 Vpp yang memancar pada beban 50Ω , pada jarak 25 cm ke penerima menyebabkan level *jamming* $J = 18,98$ dBm. Dari Persamaan (2) diperoleh kualitas sinyal input $(S/N)_{IN} = 7,89$ dB. Dengan *Processing Gain* $PG = 261,1 = 24,16$ dB, dari Persamaan (3) diperoleh kualitas sinyal setelah *despreading* di penerima $(S/N)_{OUT} = 32,05$ dB.



(a) FM Pita Sempit 40 MHz *despreading* tanpa *jamming* (info 4 kHz) (span 5 MHz) (b) FM Pita Sempit 40 MHz *despreading* dengan *jamming* (info 4 kHz) (span 5 MHz)



(c) FM Pita Sempit 10,7MHz non-DSSS tanpa *jamming* (info 4 kHz) (span 50 kHz) (d) FM Pita Sempit 10,7MHz non-DSSS dengan *jamming* (info 4 kHz) (span 50 kHz)

Gambar 9. Performansi pada Lingkungan *Jamming*

4.3.2 Gangguan *Jamming* pada Sistem Non-DSSS

Pada pengamatan ini, sinyal informasi 4 kHz dimodulasi FM kemudian langsung dikuatkan dengan daya 1,37 Watt, tanpa lebih dulu dilakukan spreading, sehingga *bandwidth* transmisi tetap selebar 8 kHz (FM pita sempit). Pemancar juga ditempatkan pada jarak 1 m dari penerima FM tanpa

despreading, dan sinyal *jamming* berjarak 25 cm dari penerima dengan level 2,063 Vpp. Sinyal terima ini diamati pada IF 10,7 dalam span 50 kHz.

Dari Gambar 9.c terlihat bahwa sinyal IF tanpa *jamming* diterima baik pada level $-21,78$ dBm. Sedangkan pada Gambar 9.d terlihat bahwa sinyal IF FM dengan *jamming* telah mengalami cacat akibat oleh level *jamming* yang cukup mengganggu.

5. Kesimpulan

Dari pengujian terhadap hasil realisasi sistem *transceiver* FM-DSSS, diambil kesimpulan bahwa Sinyal FM pita sempit 7,7 kHz telah dapat ditebarkan oleh sinyal PRG 1 Mcps ke rentang *bandwidth* 2 MHz pada frekuensi 40 MHz, sehingga diperoleh $PG = 261,1$ atau 24,16 dB. Terjadi ketidaksempurnaan proses *despreading* yang disebabkan oleh *delay* transmisi. Semakin besar *Processing Gain*, performansi sinyal terima semakin baik. Sinyal *jamming* pada penerima FM-DSSS akan ditebarkan pada *bandwidth* yang sangat lebar, sehingga turun levelnya turun hingga tidak mengganggu penerimaan sinyal informasi. S/N input penerima sebesar 7,89 dB, sedangkan S/N output penerima diperoleh 32,05 dB.

Hendaknya sistem dilengkapi dengan proses sinkronisasi (akuisisi dan tracking), sehingga dihasilkan penerimaan sinyal berkualitas baik. *Balance modulator* sebagai *spreader* sinyal FM dengan kode penebar hendaknya dibuat hingga *suppressed carrier* serendah mungkin dan kedua sisinya *balance* hampir sempurna.

Daftar Pustaka

- [1] Boylestad, R. and L. Nashelsky, *Electronic Devices and Circuit Theory*. Prentice Hall.
- [2] Cooper, G. R. and C. D. McGillem. 1986. *Modern Communication and Spread Spectrum*, Singapore: MacGraw-Hill.
- [3] Dixon, R. C. 1994. *Spread Spectrum Systems with Commercial Applications*. 3rd Ed. New York: Jhon Wiley and Sons, Inc.
- [4] Doberstein, D. 1996. *A 16 KBS Full Duplex Spread Spectrum Receiver RF Data Link*. President DKD Instruments.
- [5] Meel, J. *Introduction Spread Spectrum*. Rotselaar, Belgium: Sirius Communications.
- [6] Peterson, R.L., R.E. Ziemer, D.E. Borth, 1985. *Introduction to Spread Spectrum Communications*. Prentice Hall.
- [7] Williams, A. B. *Electronic Filter Design Handbook*. McGraw-Hill.