

ANALISIS PENERAPAN TEKNOLOGI PACKET HOP PADA SISTEM KOMUNIKASI DATA WIRELESS

Dewi Rachmawati¹, R. Rumani M².

^{1,2} Gedung N-203, Fakultas Elektro dan Komunikasi, Institut Teknologi Telkom
Jl. Telekomunikasi No. 1, Dayeuhkolot, Bandung 40257

¹dewi_r@yahoo.com, ²r_rumani_m@yahoo.com, rrm@ittelkom.ac.id

Abstrak

Sistem komunikasi data terus berkembang selaras dengan perkembangan karakteristik masyarakat modern yang memiliki mobilitas tinggi, mencari layanan yang fleksibel, serba mudah dan memuaskan serta mengejar efisiensi di segala aspek. Teknologi *Packet-Hop* pada komunikasi data *wireless* adalah teknologi yang digunakan pada sistem *Wireless Local Area Network* (WLAN) dengan *routing software* dan desain jaringan yang khusus.

Wireless LAN (WLAN) menggunakan frekuensi radio sebagai media transmisinya, didukung dengan teknik *spread spectrum-Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) atau *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS) pada pita frekuensi 2,4 GHz *unlicensed Industrial, Scientific and Medical* (ISM) dan teknologi *Radio Frequency* (RF) dengan *data rate* 1-2 Mbps. Dari hasil analisis terhadap parameter-parameter kunci yang terdapat kedua teknik *spread spectrum* di atas, ditemukan, bahwa teknik yang lebih sesuai dan lebih baik untuk *routing* data pada WLAN, adalah DSSS untuk aplikasi komunikasi *point to point*, sedangkan FHSS lebih sesuai untuk aplikasi komunikasi *point to multipoint* dalam wilayah yang relatif lebih luas dibandingkan dengan wilayah untuk komunikasi *point to point*.

Kata kunci : *Packet hop, WLAN, DSSS, FHSS*

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Inovasi di dalam teknologi telekomunikasi berkembang dengan sangat cepat dan selaras dengan perkembangan karakteristik masyarakat modern yang memiliki mobilitas tinggi, mencari layanan yang fleksibel, serba mudah dan memuaskan serta mengejar efisiensi di segala aspek kehidupan. Teknologi *wireless* memiliki fleksibilitas, mendukung mobilitas, memiliki teknik *frequency reuse, selular* dan *handover*, menawarkan efisiensi dalam waktu (peng-instal-an) dan biaya (pemeliharaan dan peng-instal-an ulang di tempat lain), mengurangi pemakaian kabel dan penambahan jumlah pengguna dapat dilakukan dengan mudah dan cepat.

Salah satu syarat untuk transmisi radio adalah *Line Of Sight* (LOS), dimana pada jalur transmisi radio yang harus bebas dari halangan. Sementara dengan banyaknya lokasi usaha, bangunan-bangunan tinggi, pohon-pohon, bukit, dan permukaan bumi yang tidak rata, LOS sangat sulit diterapkan saat ini. Oleh karena itu digunakan teknologi *packet-hop* yang mampu menyediakan topologi *routing* jaringan khusus yang tidak terlalu membutuhkan syarat LOS, dan juga mampu mengoptimisasi efisiensi dari spektrum frekuensi. Selain itu dengan menggunakan topologi ini maka jaringan akan mampu melakukan konfigurasi dan perbaikan sendiri, dan juga mampu beradaptasi dengan perubahan kondisi lingkungan yang cepat.

2. Kajian Pustaka

2.1. Umum

Sistem komunikasi membutuhkan medium sebagai pembawa sinyal (*carrier*). Sistem transmisi sinyal bisa berupa kabel, gelombang elektromagnetik RF (*Radio Frequency*), cahaya, dan lain-lain. Sistem komunikasi data *wireless* yang di bahas dalam penelitian ini, menggunakan media transmisi frekuensi radio.

Pada prinsipnya, pemancar yang memancarkan gelombang elektromagnetik pada frekuensi tertentu mempunyai daya pancar yang dapat menjangkau kawasan atau radius tertentu. Karakteristik gelombang pada frekuensi 2,4 Ghz tidak berbeda jauh dengan karakteristik gelombang pada frekuensi 800 Mhz atau 1,8 Ghz [3].

FCC (*Federal Communication Commission*) menyarankan untuk menggunakan frekuensi ISM (*Industrial, Scientific, Medical*) sebagai *secondary carrier* pada frekuensi 2,400 Ghz sampai dengan 2,483 Ghz. Selain itu disediakan pula perangkat pada frekuensi 5,725 Ghz hingga 5,850 Ghz. Pada WLAN generasi pertama, lebar pita (*bandwidth*) yang disediakan 20 Mhz dan pada WLAN generasi kedua (2,4 Ghz) lebar pita yang tersedia 83,5 Mhz dan pada WLAN generasi ketiga (5,7 Ghz) lebar pita yang diberikan adalah 125 Mhz. Dengan lebar pita frekuensi yang cukup besar tersebut, pengaturan akan lebih mudah dilakukan menjadi sel-sel yang lebih banyak.

WLAN yang di bahas dalam penelitian ini menggunakan pita frekuensi 2.4 GHz yang disebut juga dengan ISM *Band*, dimana oleh FCC memang dialokasikan untuk berbagai keperluan 'Industri, Sains, dan Medis', jadi siapapun dapat menggunakan frekuensi ini dengan bebas (asal tidak menggunakan pemancar berdaya tinggi).

2.2. Teknologi Spread Spectrum

Teknologi *spread spectrum* adalah suatu teknik modulasi yang menyebarkan transmisi data melalui seluruh pita frekuensi yang digunakan. Tipe modulasi ini dapat mengatasi masalah interferensi, dapat menjamin kerahasiaan informasi yang dikirim dan dapat beroperasi pada tingkat S/N (*signal to noise ratio*) yang rendah atau tahan terhadap derau yang besar. Dalam sistem komunikasi sekarang ini, pengguna frekuensi sudah cukup padat sehingga interferensi dan *noise* dari *tranceiver* lain, cukup besar.

Terdapat dua metode dasar untuk melakukan penyebaran: (1) *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS), dan (2) *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS). *Frequency hopping* menyebarkan sinyalnya dengan lompatan sinyal *narrow-band* sebagai fungsi waktu. *Direct sequence* menyebarkan sinyalnya dengan memperluas sinyal pada pita radio [2].

2.2.1. DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) adalah teknik yang memodulasi sinyal informasi secara langsung dengan kode-kode tertentu (deretan kode *Pseudonoise/PN* dengan satuan *chip*). DSSS menyebarkan sinyalnya dengan memperluas sinyal pada pita radio [4]

Sinyal yang dibangkitkan oleh teknik ini muncul dalam bentuk *noise* dalam domain frekuensi. *Bandwidth* yang lebar, disediakan oleh kode *pseudo noise* yang mengijinkan daya sinyal untuk turun hingga pada batas bawah *threshold noise* tanpa kehilangan informasi apapun.

Sistem DSSS dibuat untuk memperlebar *bandwidth* yang dibutuhkan untuk mengirimkan sinyal dengan memodulasi *data rate* dengan penyebaran kode. Penerima tetap dapat mendeteksi data yang bebas kesalahan, walaupun jika *noise* tepat berada pada posisi pita

transmisi.

2.2.2 FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)

Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) adalah teknik yang memodulasi sinyal informasi dengan frekuensi yang melompat-lompat (tidak konstan). Frekuensi yang berubah-ubah ini dipilih oleh kode-kode tertentu [4]. Tidak seperti DSSS, *frequency hopping* bukanlah sinyal yang disebarkan dalam spektrum, tetapi suatu *bandwidth* yang lebar dalam spektrum yang dibagi menjadi banyak frekuensi *broadcast* yang memungkinkan untuk pengiriman data.

Di dalam FHSS, dapat dikatakan interferensinya hampir nol, tetapi sinyal yang didapat pun berkurang. FHSS menyebarkan sinyalnya dengan lompatan sinyal *narrow-band* sebagai fungsi waktu.

2.3 Standarisasi IEEE 802.11

Tujuan dari standarisasi IEEE 802.11 adalah untuk menyediakan sistem hubungan *wireless* yang menstandarisasikan akses pada satu atau lebih pita frekuensi untuk *area* komunikasi lokal. Bagi para pengguna, keuntungannya adalah kemampuan untuk beroperasi dengan produk *vendor* yang lain. Standarisasi mencakup tiga mode dasar dan dua tipe jaringan [6].

Tiga mode lapis fisik yang berbeda terdiri atas dua yang menggunakan frekuensi radio dan satu menggunakan *infrared*. Dua lapis fisik radio beroperasi pada jangkauan frekuensi 2.4 GHz, satu menggunakan *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS) dan satu lagi menggunakan *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS). Lapis fisik *infrared* beroperasi menggunakan *baseband infrared*, yaitu *data rate* yang ditentukan dalam standar.

2.3.1 Topologi Jaringan

WLANs dapat digunakan sebagai pengganti *wired* LAN, atau sebagai pengembangan atas infrastruktur *wired* LAN. Sebuah *Basic Service Set* (BSS) terdiri atas dua atau lebih *node wireless*, atau station (STA), yang saling mengetahui satu sama lainnya dan telah membangun suatu hubungan komunikasi. Dalam bentuk dasarnya, station berkomunikasi secara langsung pada satu sel *area*. Tipe jaringan ini seringkali dibentuk pada dasar sementara, dan pada umumnya disebut sebagai jaringan *ad hoc*, atau *Independent Basic Service Set* (IBSS) [1].

BSS terdiri atas *Access Point* (AP); fungsi utama dari AP adalah untuk membangun sebuah *bridge* antara *wireless* dan *wired* LAN. Disini AP dianggap seperti sebuah *base station* yang digunakan dalam jaringan telepon selular. Semua komunikasi antar station atau antar station dengan jaringan *wired* langsung menuju AP. AP tidak bergerak, dan merupakan bagian dari infrastruktur jaringan *wired*. BSS dalam konfigurasi ini beroperasi dalam *infrastructure mode* [5].

2.3.2 Layer Pada IEEE 802.11

Standarisasi IEEE 802.11 menempatkan beberapa spesifikasi pada parameter *layer* PHY dan *Medium Access Control* (MAC) pada jaringan. *Layer* PHY, yang menangani transmisi data antar *node*, dapat digunakan baik pada tipe modulasi DSSS, FHSS, atau *infrared* (IR). IEEE 802.11 membuat ketetapan untuk penggunaan *data rate* 1 Mbps atau 2 Mbps, beroperasi pada pita frekuensi 2.4 - 2.4835 GHz (dalam hal transmisi *spread-spectrum*), yang merupakan pita *unlicensed* untuk aplikasi *industrial*, *scientific*, dan *medical* (ISM), dan 300 - 428,000 GHz untuk transmisi IR [6].

2.3.3 Sistem Pengamanan Jaringan

IEEE 802.11 memberikan dua metode pengamanan jaringan: *authentication* and *encryption*. Autentikasi adalah untuk membuktikan, bahwa satu stasion mempunyai otorisasi untuk berkomunikasi dengan stasion kedua dalam suatu *area* tertentu. Dalam model infrastruktur, autentikasi dibangun antara AP dan tiap-tiap stasion. Autentikasi dapat berupa *Open System* atau *Shared Key*. Dalam *Open System*, tiap *node* dapat meminta otentikasi. *Node* yang menerima permintaan dapat mengabaikan tiap permintaan otentikasi, atau hanya pada stasion yang ada dalam daftar pengguna. Dalam sistem *Shared Key*, hanya stasion yang memiliki *encrypted key* yang dapat dikenali. Otentikasi *Shared Key* hanya ada pada sistem yang memiliki kemampuan enkripsi tertentu. Enkripsi dimaksudkan untuk memberikan pengamanan sebanding dengan *wired LAN*

3. Teknologi Packet Hop

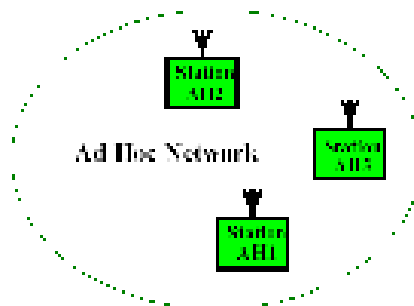
3.1 Konsep Dasar Teknologi Packet Hop

Pada sistem komunikasi *wireless* dibutuhkan jalur yang bebas halangan antara kedua antena yang dikenal dengan *line of sight*. Pada saat ini kondisi yang demikian itu sangat sulit untuk didapatkan karena mempertimbangkan perkembangan kehidupan manusia yang semakin modern dimana banyak ditemui gedung-gedung tinggi, pohon-pohon, bukit, dan permukaan bumi yang tidak rata.

Untuk dapat mengatasi masalah-masalah tersebut diatas, maka digunakan teknologi *packet hop*. Teknologi *packet hop* yang dibahas dalam penelitian ini meliputi topologi dan *routing* jaringan, media transmisi yang digunakan, serta sistem keamanan yang digunakan.

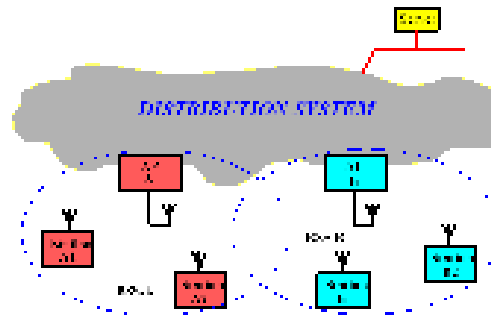
3.2 Topologi Jaringan Wireless

WLAN dapat dipakai sebagai pengembangan atau pengganti dari infrastruktur *wired LAN*. Sebuah *Basic Service Set* (BSS) terdiri atas dua atau lebih *node wireless*, atau *station* (STA), dimana keduanya telah saling mengenal dan telah membangun komunikasi. Pada dasarnya, *station* berkomunikasi secara langsung satu dengan lainnya pada tingkat *peer-to-peer* di dalam suatu cakupan *area* tertentu. Tipe jaringan ini seringkali dibentuk secara sementara, dan biasanya disebut jaringan *ad hoc*, atau *Independent Basic Service Set* (IBSS).



Gambar 1. Komunikasi Peer-To-Peer

Dalam banyak hal, BSS terdiri atas *Access Point* (AP). Fungsi utama dari AP adalah untuk membentuk *bridge* antara *wireless* dan *wired LAN*. AP dianalogikan sebagai *base station* pada jaringan telepon selular. Ketika ada AP, station tidak berkomunikasi dengan dasar *peer-to-peer*. Semua komunikasi antar station atau antar station dengan sebuah jaringan *wired* akan langsung berhubungan dengan AP. AP tidak bergerak, dan membentuk bagian dari infrastruktur jaringan *wired*. BSS dalam konfigurasi ini dikatakan dioperasikan pada mode infrastruktur.



Gambar 2 ESS yang menyediakan layanan dengan menggabungkan dua BSS.

Extended Service Set (ESS) yang ditunjukkan pada Gambar 2. terdiri atas rangkaian *overlapping* BSS (masing-masingnya terdiri atas AP) terhubung secara bersama menggunakan suatu *Distribution System* (DS), umumnya berupa *Ethernet LAN*. *Mobile node* dapat dioperasikan untuk komunikasi antar AP dan dengan cakupan yang relatif cukup luas.

Terdapat tiga tipe topologi jaringan komunikasi data *wireless*, yaitu *point-to-point*, *point-to-multipoint*, dan *multipoint-to-multipoint mesh*. Untuk tiap tipe jaringan tersebut, dicobakan beberapa aplikasi yang berbeda. Dengan menggabungkan bermacam-macam tipe sistem tersebut, dapat di deteksi permasalahannya dan dicarikan solusinya untuk berbagai masalah yang ada pada setiap tipe jaringan tersebut.

3.3 Routing Jaringan Komunikasi Data *Wireless*

Routing adalah proses penyampaian informasi dari sumber ke tujuan melalui suatu *internetwork*, yang dalam perjalanannya dapat melalui satu atau lebih *intermediate node*. *Routing* terdiri atas dua kegiatan dasar, yaitu penentuan *path routing* yang optimal dan penyampaian informasi (biasanya disebut *packet*) yang melalui suatu *internetwork*.

Dalam rangka membuat jaringan *wireless* yang efisien, topologi jaringan *mesh*, *routing wireless* memerlukan tiga komponen penting :

- dukungan protokol TCP/IP yang sesuai;
- sistem operasi jaringan *wireless* yang mampu mengoptimalkan performansi jaringan *wireless*;
- modem digital untuk RF dengan performansi yang tinggi.

Teknologi radio berkembang secara cepat. Topologi ini mengijinkan sistem operasi *wireless* untuk digunakan dalam tipe *routing* jaringan yang berbeda-beda yang mengambil keuntungan dari penemuan teknologi digital RF sehingga mampu mengurangi biaya penginstalan.

3.4 Teknik *Spread Spectrum* dan Autentikasi Jaringan

Untuk sebagian besar pengguna, keamanan dari sistem komunikasi dan dari transportasi informasi adalah hal yang sangat penting, terutama jika melibatkan hubungan jaringan *wireless*. Biasanya diperlukan untuk meyakini bahwa sistem komunikasi tersebut aman dari beberapa gangguan berikut :

- penggunaan dari pengguna trafik data pada *eavesdropper*;
- partisipasi jaringan yang tidak sah sebagai *node* aktif; dan
- akses yang tidak sah pada *node* yang berdekatan dengan jaringan *wireless*.

Kegunaan dari modem RF dan protokol keamanan adalah untuk melindungi jaringan dan trafik yang dibawanya dari gangguan ini.

4. Analisis Penerapan Teknologi *Packet Hop*

4.1. Pengaruh Propagasi

Salah satu syarat untuk transmisi radio adalah *Line Of Sight* (LOS), dimana pada jalur transmisi radio harus bebas dari halangan. Sementara dengan banyaknya lokasi usaha, bangunan-bangunan tinggi, pohon-pohon, bukit, dan permukaan bumi yang tidak rata, LOS sangat sulit diterapkan saat ini.

Sebagai bagian dari alasan keamanan, level daya *output* pada pita ISM dibatasi hanya sampai 1 W (+30dBm). Untuk alasan yang sama pula, dan juga untuk memperkecil terjadinya interferensi, maka *Effective Isotropic Radiated Power* (EIRP), atau daya yang dipancarkan oleh sistem antena yang digunakan, dibatasi maksimum sebesar 4 W (+36dBm).

4.2.1. Free Space Loss (FSL)

FSL adalah *loss* (kerugian) yang terjadi dalam sambungan komunikasi melalui gelombang radio dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$\text{Free space loss (FSL)}_{\text{dB}} = 32.45 + 20 \log D_{\text{Km}} + 20 \log f_{\text{MHz}} \quad [1]$$

dimana D = jarak antara kedua antenna (Km)
f = frekuensi transmisi (MHz)

Pada sistem komunikasi ini digunakan jarak antara antenna Tx dengan antenna Rx adalah 4 Km, sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} \text{FSL}_{\text{dB}} &= 32.45 + 20\text{Log}4 + 20\text{Log}2400 \\ &= 112.0954247 \text{ dB} \end{aligned}$$

4.2.2. Fresnel Zone

Fresnel *zone* didefinisikan sebagai tempat kedudukan titik-titik sinyal tak langsung (berbentuk elips) dalam lintasan/link gelombang radio, dimana daerah tersebut dibatasi oleh gelombang tak langsung (*indirect signal*) yang mempunyai perbedaan panjang lintasan dengan sinyal langsung sebesar kelipatan $1/2\lambda$ atau $n (1/2\lambda)$. Secara matematis didekati dengan rumus persamaan [5] :

$$F_n = 17.3 \sqrt{\frac{n \cdot d_1 \cdot d_2}{f_{\text{GHz}} \cdot D_{\text{Km}}}}$$

Dimana F_n = jarak lintasan tertentu terhadap lintasan LOS (meter)
n = fresnel *zone* ke-n
 d_1 = jarak ujung lintasan (Tx atau Rx) ke titik refleksi (Km)
 d_2 = jarak ujung lintasan yang lain (Rx atau Tx) ke titik refleksi (Km)
f = frekuensi (GHz)
D = $d_1 + d_2$ (Km)

Data fresnel *zone* dengan jarak udara d_1 dan d_2 yang divariasikan dalam penelitian ini, dapat dilihat dalam Tabel 1.

Tabel 1. Data Fresnel zone

d_1 (Km))	d_2 (Km)	F(GHz)	D(Km)	F_n (m)
0	4	2.4	4	0
0.4	3.6	2.4	4	6.700261
0.8	3.2	2.4	4	8.933682
1.2	2.8	2.4	4	10.23482
1.6	2.4	2.4	4	10.94148
2	2	2.4	4	11.1671
2.4	1.6	2.4	4	10.94148
2.8	1.2	2.4	4	10.23482
3.2	0.8	2.4	4	8.933682
3.6	0.4	2.4	4	6.700261
4	0	2.4	4	0

4.2.3. Effective Isotropically Radiated Power (EIRP)

EIRP adalah suatu besaran yang digunakan untuk menggambarkan performansi dari sistem transmisi radio. Ada tiga elemen dasar dalam sistem tersebut : *transmitter* dengan daya *output* tertentu, antena dengan *gain* (atau mungkin *loss*), dan sebuah jalur transmisi yang menghubungkan antena dengan *transmitter*. Jalur transmisi memiliki *loss*. Semua nilai dinyatakan dengan satuan dB, dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{EIRP}_{\text{dBW}} = P_t + G_{\text{ant}} - L_L$$

Dimana P_t = daya *output* RF dari *transmitter* (dB)

G_{ant} = *gain* antenna (atau *loss*) (dB)

L_L = *loss* jalur transmisi (dB)

Dari data tabel 4.1, diperoleh nilai EIRP sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{EIRP}_{\text{dBW}} &= P_t + G_{\text{ant}} - L_L \\ &= -14.95 + (-2.15) - 1.44 - 2 \\ &= -20.54 \text{ dB} \end{aligned}$$

4.2.4. Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate (BER) dari suatu sistem komunikasi radio yang terpasang dapat diperoleh dengan cara pengukuran, sedangkan dalam tahap perancangan dapat diperoleh dengan cara diprediksi probabilitas *error*-nya, dimana besarnya bergantung pada jenis modulasi digital yang digunakan.

Perhitungan BER berhubungan dengan perhitungan E_b/N_o , dimana E_b/N_o dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$E_b/N_o = \frac{P_{Rx}}{\text{bit_rate}} : KT$$

$$N_o = \frac{N}{B_{IF}} = \frac{K.T.B_{IF}}{B_{IF}} = KT$$

$$N_o = K + T_{\text{sis}} = -228,6\text{dBW} + 10\text{Log}T_{\text{sis}}$$

Dioperasikan pada temperatur kamar ($T_o = 290^{\circ}\text{K}$), maka :

$$(N_o)_{\text{dB}} = K + T_o + \text{NF}_{\text{dB}} = -204\text{dBW} + \text{NF}_{\text{dB}}$$

sehingga E_b/N_o dapat ditulis kembali sebagai :

$$E_b/N_o = P_{\text{Rx}} - 10\text{Log}(\text{bit_rate}) - (-204\text{dBW} + \text{NF}_{\text{dB}})$$

Sedangkan P_{Rx} dihitung sebagai berikut :

$$P_{\text{Rx}} = P_{\text{Tx}} - L_{\text{tot}}$$

$$L_{\text{tot}} = \text{FSL} + L_{\text{sal Tx}} + L_{\text{sal Rx}} - G_{\text{Tx}} - G_{\text{Rx}}$$

Dari data tabel 4.1, diperoleh :

$$P_{\text{Rx}} = P_{\text{Tx}} - L_{\text{tot}}$$

$$= -20.54 - 112.0954247 - 1.44 - 2$$

$$= -136.0754247 \text{ dB}$$

sehingga dari perhitungan diatas kita peroleh :

$$E_b/N_o = P_{\text{Rx}} - 10\text{Log}(\text{bit_rate}) - (-204\text{dBW} + \text{NF}_{\text{dB}})$$

$$= -136.0754247 - 10\text{Log}11 - (-204 + 4.5)$$

$$= 53.0106 \text{ dB.}$$

4.2. Throughput Jaringan

4.2.1. Throughput Sistem Tunggal

Sistem DSSS mentransmisikan data dengan *rate* sampai 11 Mbps, untuk melaksanakannya digunakan sub-band 22 MHz yang berdekatan. Efisiensi dari sistem tersebut adalah sebagai berikut :

$$\frac{11\text{Mbps}}{22\text{MHz}} = 0.5 \text{ bits / Hertz.}$$

Sistem FHSS mentransmisikan data dengan *rate* sampai 3 Mbps, untuk melaksanakannya digunakan kanal 1 MHz. efisiensi dari sistem tersebut adalah :

$$3 \text{ Mbps} / 1 \text{ MHz} = 3 \text{ bits / Hertz.}$$

Sesuai hasil dari keputusan FCC terakhir (tahun 2000) FHSS diperbolehkan beroperasi dalam pita 2.4 GHz dengan kanal 5 MHz.

Besarnya throughput adalah 7 Mbps untuk DSSS 11 Mbps, dan 2 Mbps untuk FHSS 3 Mbps.

4.2.2. Jumlah Throughput Dari Sistem yang Sejajar

Berdasarkan pada spesifikasi IEEE 802.11, jumlah maksimum dari system DSSS yang dapat disejajarkan ada 3. Tiga sistem yang sejajar ini menyediakan jumlah *rate* $3 \times 11 \text{ Mbps} = 33 \text{ Mbps}$, atau jumlah *throughput* jaringan $3 \times 7 \text{ Mbps} = 21 \text{ Mbps}$.

Sistem FHSS dapat beroperasi dengan deret *hopping synchronized* atau *non-synchronized hopping sequences*. Pada kasus *non-synchronized*, pita di alokasikan pada jalan yang dinamis diantara system yang sejajar (menggunakan deret *hopping* yang berbeda, yang tidak *synchronized*), tumbukan dapat terjadi, sehingga mengurangi besarnya *throughput*. Semakin banyak jumlah system yang sejajar (AP), semakin besar jumlah tumbukan dan semakin kecil *throughput* yang dihasilkan. Pada saat jumlah AP mencapai 15 buah, maka jumlah tumbukan yang dibangkitkan oleh AP tambahan sangat tinggi. Pada kasus *synchronized*, tumbukan sama sekali tidak terjadi; sampai dengan 12 sistem disejajarkan, besarnya *rate* dan jumlah *throughput* merupakan fungsi linier dari jumlah sistem yang sejajar.

Kelebihan DSSS terhadap FHSS adalah kemampuannya untuk menyediakan *rate* sampai 11 Mbps. Pada saat mencakup pita 2.4 GHz, tiga sistem mungkin diterapkan, menyediakan jumlah *rate* 33 Mbps. (Efisiensi keseluruhannya : $33 \text{ Mbps}/83.5 \text{ MHz} = 0.39 \text{ bits/Hz}$). Sistem tambahan, jika di terapkan, akan berbagi spektrum dengan sistem yang sudah diterapkan, mengurangi keseluruhan jumlah *rate / throughput* karena terjadi tumbukan. Dalam lingkungan *synchronized* 2.4 GHz, lebih dari 12 sistem dapat disejajarkan, menyediakan *rate* sebesar 36 MHz (Efisiensi keseluruhannya : $36 \text{ Mbps}/83.5 \text{ MHz} = 0.43 \text{ bits/Hz}$). Dalam lingkungan *synchronized licensed FDD FHSS*, lebih dari 6 sistem dapat di sejajarkan dalam pita 12 MHz, menyediakan jumlah *rate* 18 Mbps (Efisiensi keseluruhan : $18 \text{ Mbps}/12 \text{ MHz} = 1.5 \text{ bits/Hz}$).

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

1. DSSS menyediakan kapasitas jaringan 11 Mbps, tetapi ini adalah teknologi yang sangat sensitif (*collocation, multipath, near/far, Bluetooth*).
2. Faktor yang paling membatasi, *multipath*, dapat diminimalisasi dengan menggunakan aplikasi teknologi *point-to-point*.
3. FHSS hanya menyediakan kapasitas jaringan 3 Mbps, merupakan teknologi yang cepat berubah, dengan tingkah laku yang baik pada lingkungan yang “keras” dalam *area* yang relatif besar, dengan sel *multiple collocated, noise, multipath*, kehadiran *Bluetooth*, dan lain-lain.
4. Teknologi FHSS dapat dioperasikan pada komunikasi data selular sederhana *point-to-multipoint*, dengan keandalan yang baik.

5.2. Saran

1. Diperlukan adanya penelitian lebih lanjut untuk mengatasi kelemahan/ keterbatasan yang ada pada masing-masing teknologi DSSS dan FHSS.
2. Diperlukan adanya penelitian lebih lanjut untuk aplikasi teknologi FHSS, untuk komunikasi data selular *multipoint to multipoint*.

Referensi

- [1] Andrew S. Tanenbaum, 2001, *Computer Networks 3e Routing Basics*; Cisco Systems, Inc.
- [2] Angela Champness, 2009, *The Path To High Speed Data Networking*; IEEE 802.11,
- [3] Ari Leppä, 2011, *Routed Mesh Networks: Wireless Broadband for Consumers*; Nokia.
- [4] Carl, Andren, Harris, 2010, *A Comparison of FHSS and DSSS Modulation for IEEE 802.11 Applications at 2,4 GHz*.

- [5] Fred Halsall, 1996, *Data Communications, Computer Networks and Open Systems*, Addison Wesley Publishing Co..
- [6] Jim Zyren, Al Petrick, 2010, *IEEE 802.11 Tutorial*.
- [7] Shay, William. A., 2004, *Understand Data Communication and Networks*, Brooks/Cole Inc.
- [8] Stallings, William, 2007, *Data and Computer Communications*, Pearson Education.