

ANALISIS KINERJA SISTEM BLUETOOTH PADA *PHYSICAL LAYER* UNTUK KOMUNIKASI SUARA TANPA KABEL

Robby Aris Cahyadi¹, Heroe Wijanto², Nachwan Mufti Adriansyah³

Jurusan Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknologi Telkom, Bandung

²hrw@stttelkom.ac.id, ³nma@stttelkom.ac.id

Abstrak

Kehadiran beberapa teknologi radio seperti Bluetooth dan W-LAN IEEE 802.11b yang beroperasi pada pita frekuensi 2,4 GHz akan menimbulkan interferensi sinyal yang berakibat menurunnya kinerja secara signifikan ketika tergelar di lingkungan yang sama atau berdekatan. Pada penelitian ini akan didesain sistem *physical layer* pada protokol Bluetooth yang meliputi *radio layer* dan *baseband layer*. Dari model tersebut, kinerja Bluetooth pada *physical layer* dianalisis untuk komunikasi suara dengan jenis paket HV1, HV2 dan HV3, yaitu pada hubungan antara *mobile phone* dengan *headset*. Dari evaluasi terhadap kinerjanya terlihat sistem dapat mencapai syarat batas maksimum BER 10^{-3} untuk komunikasi suara digital pada kanal AWGN.

Kata kunci: Bluetooth *Physical Layer*, paket HV1-HV2-HV3, GFSK *Frequency Hopping*, CDMA, interferensi IEEE 802.11b

Abstract

The emergence of several radio technologies like Bluetooth and W-LAN IEEE 802.11b worked on the frequency of 2,4 GHz will cause signal interference. This results in significant decrease of performance if they were in the same or near environment. Through this research, physical layer on Bluetooth protocol, consisting of radio layer and baseband layer, will be designed. Using the model, the performance of Bluetooth physical layer for voice communication with packet types HV1, HV2, and HV3 would be analyzed in a link between mobile phone and headset. The performance will reveal the system could reach the maximum limit requirement (BER= 10^{-3}) for digital voice communication in the AWGN channel.

Keywords: Bluetooth *Physical Layer*, HV1-HV2-HV3 packet, GFSK *Frequency Hopping*, CDMA, IEEE 802.11b interference

1. Pendahuluan

Bluetooth merupakan sistem komunikasi radio jarak dekat yang ditujukan untuk menggantikan kabel sebagai penghubung antar-perangkat *portable* dan atau antar-perangkat elektronik. Keunggulan Bluetooth antara lain *robustness* (ketahanan yang baik, seperti terhadap interferensi), perangkat yang tidak kompleks, daya yang rendah dan biaya murah.

Bluetooth beroperasi di pita frekuensi 2,4 GHz yang merupakan pita *unlicensed ISM*. Penggunaan frekuensi hopping pada *transceiver* digunakan untuk mengurangi terjadinya interferensi dan *fading*. Untuk mengurangi kompleksitas pada *transceiver* digunakan sistem modulasi binary. Bluetooth memiliki simbol rate 1 Msymbol/s dengan panjang tiap slot 625 ms. Untuk transmisi full duplex digunakan skema Time-Division Duplex (TDD). Tiap-tiap kanal membawa informasi berupa paket-paket. Setiap paket yang dikirimkan memiliki frekuensi hop yang berbeda. Protokol Bluetooth menggunakan kombinasi *circuit switching* dan *packet switching*. Slot dapat digunakan untuk sistem komunikasi sinkron atau asinkron, baik untuk data maupun *voice*. Kanal *voice* mendukung 64 kbps

kanal (*voice*) yang sinkron pada setiap arah. Kanal asinkron dapat mendukung maksimal 723.2 kbps asimetrik (dan sampai 57.6 kbps pada arah sebaliknya) atau 433.9 kbps simetris.

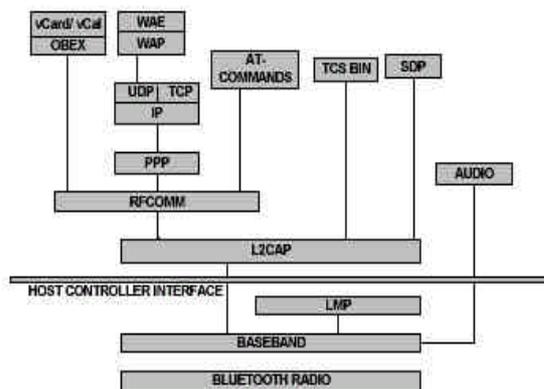
2. Struktur Protokol Bluetooth

Pada Gambar 1 diperlihatkan struktur layer pada protokol Bluetooth.

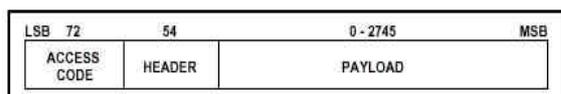
2.1 Format Paket

Secara umum format paket terdiri atas tiga bagian, yaitu : Access Code (72 bit), Header (54 bit), Payload (0 – 2745 bit), masing-masing ditunjukkan pada Gambar 2, 3, dan 4. Access Code berfungsi untuk sinkronisasi, kompensasi DC offset dan identifikasi. Header berfungsi sebagai informasi link control yang terdiri dari :

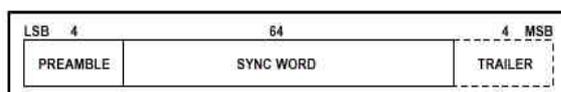
- AM_ADDR : 3-bit alamat aktif Bluetooth
- ARQN : 1-bit indikasi *acknowledge*
- SEQN : 1-bit *sequence number*
- HEC : 8-bit *header error check*
- TYPE : 4-bit kode tipe paket
- FLOW : 1-bit *flow control*



Gambar 1. Struktur Bluetooth Layer



Gambar 2. Format Paket Bluetooth



Gambar 3. Format Paket Access code



Gambar 4. Format Paket Header

Keseluruhan header berjumlah 18 bit ditambah dengan encoding FEC hingga berjumlah 54 bit, sedangkan untuk payload tergantung dari jenis paketnya, baik itu untuk suara ataupun data yang memiliki jumlah *payload* yang berbeda-beda.

2.2 Jenis Saluran Fisik Bluetooth

Antara master dan slave memiliki hubungan dengan dua jenis saluran, yaitu:

- Saluran *Synchronous Connection-Oriented* (SCO)
- Saluran *Asynchronous Connection-Less* (ACL)

Saluran SCO adalah hubungan point to point antara master dan slave tunggal dalam piconet dan menggunakan circuit switched. Sedangkan saluran ACL menggunakan hubungan point to multi point antara master dan banyak slave dalam piconet dan menggunakan packet switched.

Jenis paket pada saluran SCO menggunakan jalur *synchronous* SCO. Paket tersebut tidak menyertakan CRC dan tidak ada pengiriman ulang. Paket SCO di-route melalui port sinkron I/O (*voice*). Paket SCO terdapat tiga jenis: HV1, HV2, HV3.

1. Paket HV1

HV singkatan dari *Highquality Voice*. Paket HV digunakan untuk transmisi suara dan sinkronous data. Untuk Paket HV tidak pernah terjadi pengiriman ulang. Paket HV1 membawa 10 byte

informasi. Byte informasi itu disertai 1/3 FEC rate. Tanpa CRC dan *payload* untuk *header*, panjang *payload*-nya 240 bits. Paket ini membawa informasi suara dengan 1.25 ms pada *rate* 64 kbps, sehingga dikirimkan setiap dua *time slot* (TSCO=2).

2. Paket HV2

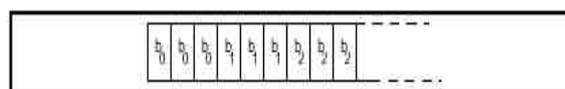
Paket HV2 membawa 20 byte informasi. Byte informasi itu disertai 2/3 FEC *rate*. Tanpa CRC dan *payload* untuk *header*, panjang *payload*-nya 240 bits. Paket ini membawa informasi suara dengan 2.5 ms pada *rate* 64 kbps, sehingga dikirimkan setiap empat *time slot* (TSCO=4).

3. Paket HV3

Paket HV1 membawa 10 byte informasi. Tanpa CRC, FEC dan *payload* untuk *header*, panjang *payload*-nya 240 bits. Paket ini membawa informasi suara dengan 3.75 ms pada *rate* 64 kbps. sehingga akan dikirimkan setiap enam *time slot* (TSCO=6).

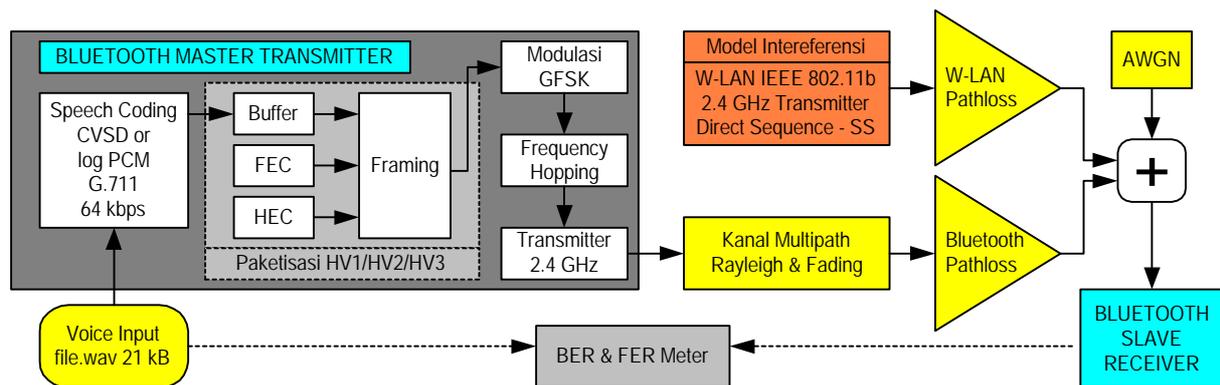
2.3 Metode Koreksi Error

Terdapat tiga macam skema koreksi *error* pada Bluetooth, yaitu: 1/3 *rate* FEC, 2/3 *rate* FEC, dan skema ARQ untuk data. Tujuan skema FEC pada *payload* data adalah untuk mengurangi banyaknya retransmisi. Namun akibatnya diperlukan ruang untuk FEC sehingga akan menambah *overhead* dan akan mengurangi *throughput*. *Header* paket selalu menggunakan 1/3 *rate* FEC.



Gambar 5. Skema FEC 1/3 Rate

- **FEC CODE: RATE 1/3**
FEC tipe ini paling sederhana, yaitu hanya berupa pengulangan 3 kali setiap bit, seperti diperlihatkan di Gambar 5. Penggunaannya dilakukan pada setiap header dan jenis paket HV1.
- **FEC CODE: RATE 2/3**
Skema ini menggunakan (15,10) Shortened Hamming Code, dengan *generator polynomial* $g(D) = (D + 1)(D^4 + D + 1)$. Kode ini dapat mengoreksi semua *error* tunggal dan mendeteksi semua *error* pada setiap *codeword*. FEC 2/3 *rate* digunakan pada paket DM, paket DV, paket FHS dan paket HV2.
- **SKEMA ARQ**
Skema *Automatic Repeat reQuest* digunakan untuk tipe paket DM, DH dan *field* data paket DV, dikirimkan dan di retransmitkan kembali sampai menerima acknowledgement. Untuk menentukan apakah *payload* benar atau tidak, ditambahkan kode cyclic redundancy check (CRC) pada paket. Skema ARQ hanya bekerja pada *payload* yang memiliki CRC. Paket *header* dan *voice payload* tidak menggunakan skema ini.



Gambar 6. Model Sistem Bluetooth untuk Komunikasi Paket Suara HV1/HV2/HV3

3. Pemodelan Sistem

Model sistem mencakup proses transmisi suara pada Bluetooth, yaitu komunikasi antara *mobile phone* dengan *headset*. Komunikasi suara pada Bluetooth menggunakan jenis paket HV1, HV2 dan HV3 yang telah dibahas di bagian 2.2. Perangkat Bluetooth dapat menjadi master atau slave. Master adalah yang memulai inisiatif melakukan hubungan dengan perangkat Bluetooth lainnya sebagai slave.

Skenario yang dilakukan pada pengujian ini antara lain dengan mengirimkan file wave (untuk simulasi ini besarnya file 21 kB). File wave ini akan dilewatkan melalui kondisi kanal bermacam-macam. Pengujian ini dilakukan pada kondisi kanal berubah dari kondisi ideal yang diharapkan tanpa pengaruh apapun hingga pada kondisi kanal terburuk yang dipengaruhi oleh interferensi W-LAN 802.11b Direct Sequence Spread Spectrum dan pengaruh dari sesama pengguna Bluetooth, pengaruh *Additive White Gaussian Noise* (AWGN) dan *Path Loss*.

Pada Gambar 6 diperlihatkan model sistem Bluetooth untuk komunikasi paket suara. Model tersebut terdiri dari *master transmitter*, kanal radio, sumber interferensi W-LAN IEEE 802.11b, *slave receiver* dan pengukuran *error* (BER dan FER). pengamatan juga dilakukan terhadap bentuk sinyal fungsi waktu, spektrum frekuensi dan spektogram dari sinyal Bluetooth dengan sinyal W-LAN IEEE 802.11b. Model tersebut dibuat berdasarkan suatu pemrosesan frame. Selain itu, telah digunakan pula pemodelan operasi blok-blok sistem *forward error correction* (FEC) dan *cyclic redundancy checks* (CRC) dengan panjang frame data yang tetap.

3.1 Master Transmitter

Subsistem transmitter terdiri dari voice input, speech coding, buffering, framing, HEC, FEC, modulasi, dan frekuensi hopping. Whitening yang dihilangkan dapat ditambahkan dengan Scrambling.

3.2 Koding Suara CVSD

Pada standar Bluetooth terdapat dua jenis pengkodean suara yaitu Continuous Variable Slope

Decoding (CVSD) dan 64 kbps log PCM (G.711). Pada model ini digunakan digunakan jenis CVSD. Blok Wavread block membawa sinyal 8kHz signal dari "file.wav", kemudian sinyal tersebut diinterpolasikan hingga 64 kHz untuk dilakukan pengkodean. CVSD speech coder mengkodekan setiap sample dengan bit tunggal menggunakan skema koding diferensial, dimana mengirim 1 bit jika sample suara bertambah dari nilai sebelumnya dan bit 0 jika berkurang. Skema ini tahan terhadap kesalahan bit, dengan parameter sama dengan pada standar Bluetooth. Keluaran coder adalah 64 kbps stream, yang akan di-buffer kedalam bentuk frame sebesar 240 bit, sama dengan 3.75ms suara.

3.3 HEC, FEC and Framing

Payload 240-bit untuk suara diperbesar dengan tambahan kontrol informasi, sebagaimana telah diperlihatkan pada Gambar 3. Telah pula diperlihatkan pada Gambar 2 rangkaian dari kode akses 72-bit, header 54-bit, dan payload 240-bit, sehingga menjadi 366-bit frame. Header 54-bit berisikan pengulangan FEC yang sederhana dari 18-bit informasi header dan bit header error check (HEC). HEC adalah CRC 8-bit yang dihitung dari informasi header 10-bit. Informasi header berisi bit-bit penting di antaranya mengenai alamat slave, jenis paket, dan status bit.

3.4 Modulasi dan Frekuensi Hopping

Sebanyak 366 bit data dikirimkan pada dengan data rate 1 Mbps dan dimodulasikan secara GFSK. GFSK secara efektif mengirimkan sinyal +150 kHz relatif terhadap carrier untuk bit 1, atau juga sinyal -150 kHz untuk bit 0. Dengan 100 sample per symbol keluaran dari blok modulator ini, dihasilkan *bandwidth* sempit dengan sinyal *baseband* kompleks terpusat sekitar 0 Hz dengan sample rate sebesar 0,01 ms (atau ± 50 Mhz range frekuensi). Sample ini disimulasikan dalam bentuk frame dari 62500 sample sehingga slot rate-nya sebesar 625 ms.

Untuk menghindari interferensi dengan perangkat yang menggunakan frekuensi ISM lainnya, Bluetooth mengirimkan frekuensi carrier

berbeda-beda pada tiap slotnya. Ini didapat dengan mengalikan sinyal baseband dengan salah satu dari kemungkinan 79 frekuensi yang berada pada cakupan ± 39 MHz. Sinyal carrier yang dihasilkan pada model ini menggunakan blok baseband MFSK 79 simbol dengan jarak antar symbol 1MHz. Jika frekuensi hopping bernilai 0, maka dihasilkan sinyal sinusoidal -39 MHz kompleks. Jika hopping bernilai 1, maka dihasilkan -38 MHz, dan seterusnya.

Untuk transmisi suara hanya digunakan setiap 6 slot. Modulator akan berfungsi dalam melakukan setting slot rate sehingga diperlukan subsistem enable untuk mengaktifkan setiap 6 sample misalnya (atau pada SCO rate). Akhirnya, daya sinyal yang dikirimkan diatur pada 0dBm (1mW). Pengaruh dari RF stage seperti mixing ke 2.4 GHz dan filtering, tidak dimasukkan dalam model.

4. Hasil Simulasi dan Percobaan

4.1 Kinerja Bluetooth Terkontaminasi AWGN

Dari grafik pada Gambar 7 di atas terlihat syarat batas minimum BER untuk komunikasi digital ($BER=10^{-3}$) dapat dicapai pada $Es/No = 3$ dB untuk tipe paket HV1, $Es/No = 4$ dB untuk HV2, dan $Es/No = 4$ dB untuk HV3. Dan untuk bebas bit error ($BER=0$) dicapai pada kondisi $Es/No = 10$ dB untuk tipe paket HV1, $Es/No = 11$ dB untuk HV2, dan $Es/No = 11$ dB untuk HV3.

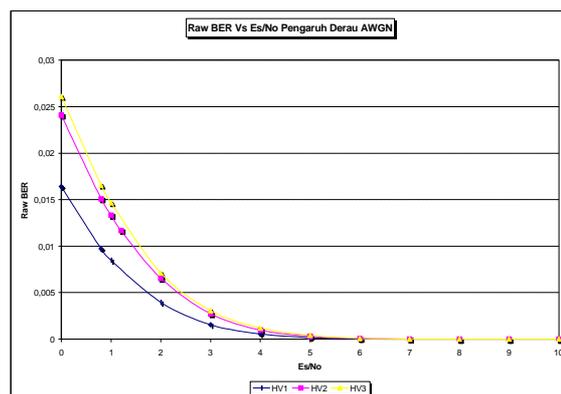
Sedangkan dari grafik pada Gambar 8 terlihat untuk kondisi bebas frame error ($FER=0$) dicapai pada $Es/No = 0.8$ dB untuk HV1, $Es/No = 1.2$ dB untuk HV2, dan $Es/No = 0.8$ dB untuk HV3.

Tipe paket HV1 terlihat lebih baik diikuti HV2 dan HV3 dikarenakan penggunaan metode Forward Error Correction. Namun dari evaluasi mengenai frame error yang terjadi, hampir seluruh keadaan tidak memberikan frame error atau sama dengan nol, kecuali untuk keadaan kualitas sinyal yang kurangnya pada $Es/No = 1.5$ dB.

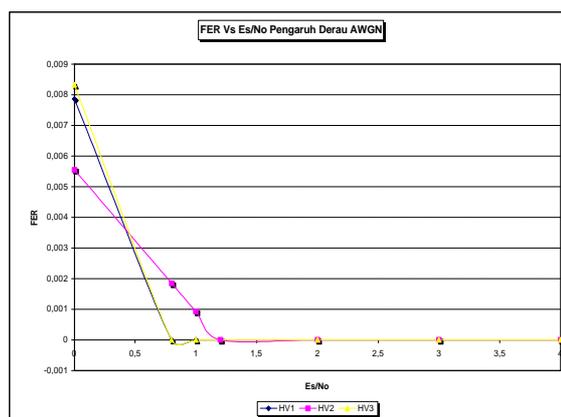
4.2 Kinerja Sistem Bluetooth Terinterferensi Antar-User Bluetooth

Pada simulasi ini masing-masing percobaan dilakukan hanya sampai 15 piconet Bluetooth. Dari Gambar 9 dan Gambar 10 terlihat bahwa semakin banyak piconet Bluetooth dalam suatu ruangan, maka kinerja sistem akan menurun yang ditunjukkan oleh peningkatan Raw BER. Walaupun BER cukup besar dan tidak memenuhi 10^{-3} , namun integritas frame yang dihasilkan cukup baik, sehingga suara yang dihasilkan masih dapat didengar dengan baik.

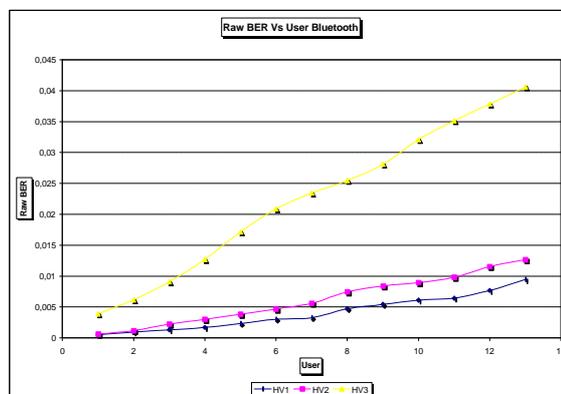
Dari hasil yang diperoleh untuk seluruh tipe, HV1 memiliki kinerja yang terbaik, diikuti oleh HV2 dan HV3. Penurunan kinerja hingga 15 user sebesar 1.2% untuk HV1, 1.6% untuk HV2, dan 4.7% untuk HV3. Untuk komunikasi *point-to-multipoint* atau sebaliknya dapat dilakukan hingga 8



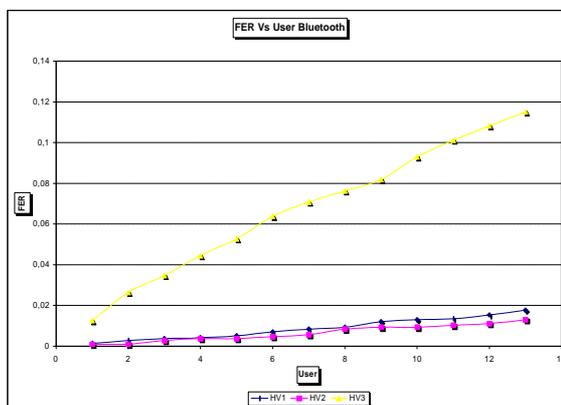
Gambar 7. BER terhadap Es/No



Gambar 8. FER terhadap Es/No



Gambar 9. Raw BER vs Interferensi Piconet



Gambar 10. FER vs Interferensi Piconet

user Bluetooth, 1 user sebagai master dan 7 lainnya sebagai slave dalam satu piconet. Hasil simulasi bisa mencapai 15 piconet (15 x 8 = 120 user Bluetooth).

Tabel 1. Perbandingan pada saat 15 piconet

Tipe	Bit Error	BER	Frame Error	FER	MSE
HV1	9733	0.01231	47	0.02175	0.00181
HV2	6125	0.01548	14	0.01295	0.0019
HV3	12380	0.04691	95	0.1318	0.0013

Tabel 1 ditampilkan untuk lebih menunjang analisis mengenai *frame error rate*, total *error* yang terjadi, dan total *frame error* dari ketiga tipe pada kondisi 15 user Bluetooth. Tipe HV2 memiliki kinerja terbaik dari tipe lainnya, baik *bit error*, BER, *frame error*, FER maupun MSE.

Kinerja sistem Bluetooth yang terinterferensi oleh sesama pengguna Bluetooth untuk tipe HV1, HV2 dan HV3 mengalami degradasi, suara yang dihasilkan dapat didengar, namun berkualitas buruk.

4.3 Kinerja Sistem Bluetooth Terinterferensi WLAN IEEE 802.11b.

Dari grafik-grafik untuk BER dan FER dari ketiga tipe pada Gambar 10 dan Gambar 11, ditunjukkan nilai-nilai yang memiliki selisih tidak berbeda jauh. Pengaruh interferensi IEEE 802.11b berpengaruh besar dibandingkan pengaruh dari hal-hal yang telah dibahas di atas. Tidak terlihatnya pengaruh penggunaan FEC disebabkan karena error yang terjadi bersifat bursty atau terjadi lebih dari satu *error*. Sedangkan FEC 1/3 dan 2/3 hanya mampu mendeteksi dan mengkoreksi satu *error* saja.

Tabel 2. Perbandingan pada saat paket rate 999

Tipe	Bit Error	BER	Frame Error	FER	MSE
HV1	66660	0.08428	456	0.211	0.001349
HV2	37000	0.09351	244	0.2257	0.0014055
HV3	22700	0.08603	153	0.2122	0.0011949

Pada Table 2 diperlihatkan nilai BER dan FER ketiga jenis paket pada *rate* paket 999. Data tersebut menunjukkan bahwa *throughput* semakin berkurang dengan penambahan *payload*, karena paket frame yang dikirimkan akan lebih banyak dibandingkan dengan yang memiliki sedikit *payload*. Pada kondisi trafik yang padat, penentuan FEC yang tepat sangat menentukan keberhasilan paket yang sukses.

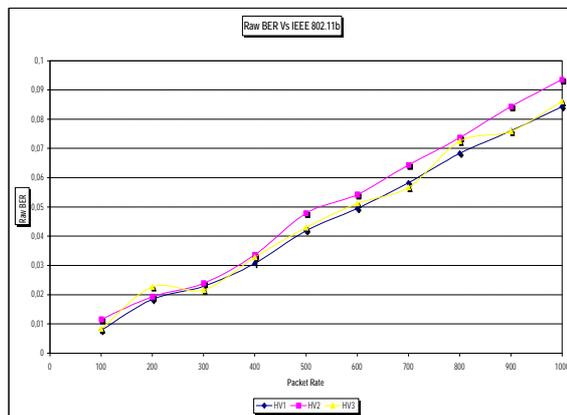
4.4 Analisis Probabilitas Paket Error

Setiap pengiriman satu paket IEEE 802.11b dapat terjadi *overlap* dua sampai tiga paket Bluetooth *burst*. Probabilitas terjadinya *collision* adalah sebagai berikut:

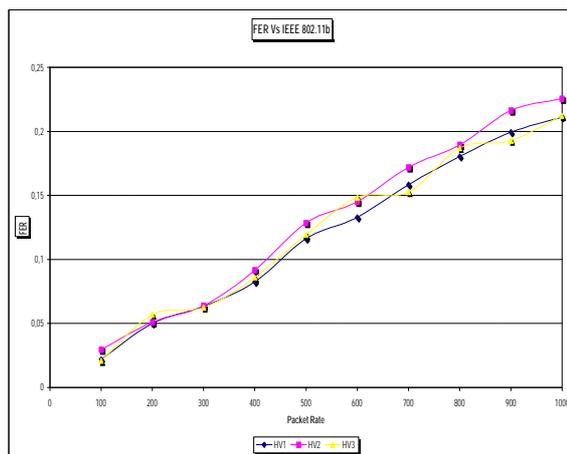
$$\begin{aligned}
 Pc2 &= 1 - (1 - (WR / (WR \times Nc)))^2 \\
 &= 1 - (1 - (22 \text{ MHz} / (1 \text{ MHz} \times 79)))^2 \\
 &= 47,9 \%
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Pc3 &= 1 - (1 - (WR / (WT \times Nc)))^3 \\
 &= 62,4 \%
 \end{aligned}$$

Dari hasil di atas, probabilitas *collision* ketika terjadi dua paket Bluetooth sebesar $Pc2 = 47,9\%$, sedangkan untuk tiga paket *overlap* lebih besar lagi, yaitu $Pc3 = 62,4\%$. Dengan *packet rate* makin besar, maka meningkat pula peluang terjadinya *collision* pada kanal tersebut, sebagaimana ditunjukkan pada peningkatan nilai BER dan FER secara signifikan.



Gambar 10. Raw BER Vs interferensi IEEE 802.11b

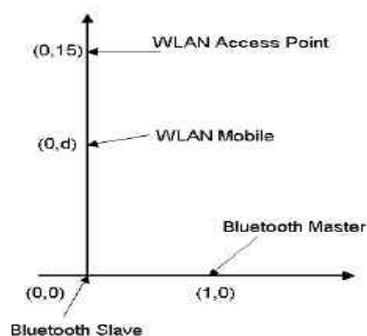


Gambar 11. FER Vs interferensi IEEE 802.11b

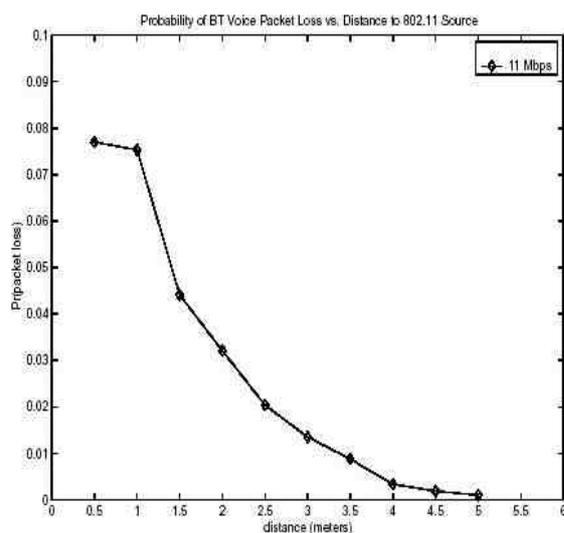
4.5 Kinerja Sistem WLAN IEEE 802.11b Terinterferensi oleh Bluetooth

Pengaruh interferensi Bluetooth terhadap kinerja sistem IEEE 802.11b berdasarkan perubahan jarak antara kedua sistem telah diperoleh dari data percobaan [3]. Topologi kedua jaringan dalam suatu ruang diperlihatkan pada Gambar 12. Hasil percobaan tersebut diperlihatkan pada Gambar 13.

Hasil percobaan di atas menunjukkan semakin dekat jarak Access Point WLAN IEEE 802.11b dengan Bluetooth, maka probabilitas paket *error* semakin besar. Pada Gambar 13 ditunjukkan jarak aman untuk menghindari terjadinya interferensi adalah lebih dari 5 meter. Suatu perencanaan jaringan harus memenuhi syarat jarak aman tersebut, apabila dalam suatu lingkungan terdapat beberapa pengguna Bluetooth dan WLAN IEEE 802.11b.



Gambar 12. Topologi Jaringan Bluetooth dan WLAN



Gambar 13. Probabilitas Error IEEE 802.11b terhadap Jarak ke Bluetooth

5. Kesimpulan

Dari pembahasan di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa Pada kanal AWGN, BER maksimum untuk komunikasi suara digital ($BER=10^{-3}$) dicapai pada $E_s/N_0 = 3$ dB untuk tipe paket HV1, pada $E_s/N_0 = 4$ dB untuk HV2, dan $E_s/N_0 = 4$ dB untuk HV3. Jadi HV1 memiliki kinerja terbaik, diikuti HV2 dan HV3. Pada simulasi dapat dicapai 15 piconet ($15 \times 8 = 120$ user Bluetooth) dalam satu ruangan. Ini menunjukkan kapasitas sistem yang cukup besar. Semakin besar *packet rate* W-LAN IEEE 802.11b, semakin besar pula BER dan FER pada Bluetooth. Interferensi W-LAN IEEE 802.11b berpengaruh kuat pada kinerja sistem Bluetooth. Semakin dekat jarak W-LAN IEEE 802.11b dengan Bluetooth, semakin besar pula probabilitas *error* pada Bluetooth maupun pada W-LAN IEEE 802.11b. Jarak aman untuk menghindari terjadinya saling interferensi antara kedua sistem adalah lebih dari 5 meter. Penggunaan FEC dapat meningkatkan perbaikan kinerja sistem Bluetooth.

Sangat menarik diteliti lebih lanjut untuk semua tipe paket Bluetooth, baik suara maupun data, untuk melihat kinerja sistem secara menyeluruh. Hendaknya dibuat kajian lebih lengkap pada kondisi sebaliknya, yaitu bagaimana pengaruh interferensi

Bluetooth terhadap degradasi kinerja WLAN IEEE 802.11b. Perlu kajian lebih lanjut untuk kondisi kanal yang lebih representatif, mempertimbangkan terjadinya fading, perubahan jarak interferensi, dan perbedaan pola radiasi gelombang dari kedua sistem Bluetooth dan WLAN IEEE 802.11b.

Daftar Pustaka:

- [1] Frainger, M. and D. J. Goodman. *Maximizing Performance of a Wireless LAN In The Presence of Bluetooth*.
- [2] Freeman, R. L. 1991. *Telecommunications Transmission Handbook 3rd Edition*, New York. John Wiley & Sons. Inc.
- [3] Golmie, N. and N. Chevrollier. *Techniques To Improve Bluetooth Performance In Interference Environments*
- [4] Golmie, N., R. E. Van Dyck, and S. Soltanian. *Interference of Bluetooth and IEEE 802.11: Simulation Modelling and Performance Evaluation*
- [5] <http://www.bluetooth.com>
- [6] <http://www.bluetoothcentral.com>
- [7] <http://www.homeRF.org>
- [8] IEEE 802.11 Wireless LAN Standards
- [9] Kontakos N. P. and Pollard J. K. *Bluetooth RF Layer Performance Evaluation*
- [10] Mim, R. *How Bluetooth Interference Impacts Wireless LANs*
- [11] Shorey, R. and B. A. Miller. *The Bluetooth Technology: Merits and Limitations*
- [12] Spasojevic, Z. and J. Burns. *Performance Comparison Of Frequency Hopping And Direct Sequence Spread Spectrum Systems In The 2.4 GHz Range*
- [13] *Specifications Of The Bluetooth System Version 1.1 – Core*. Feb 2001