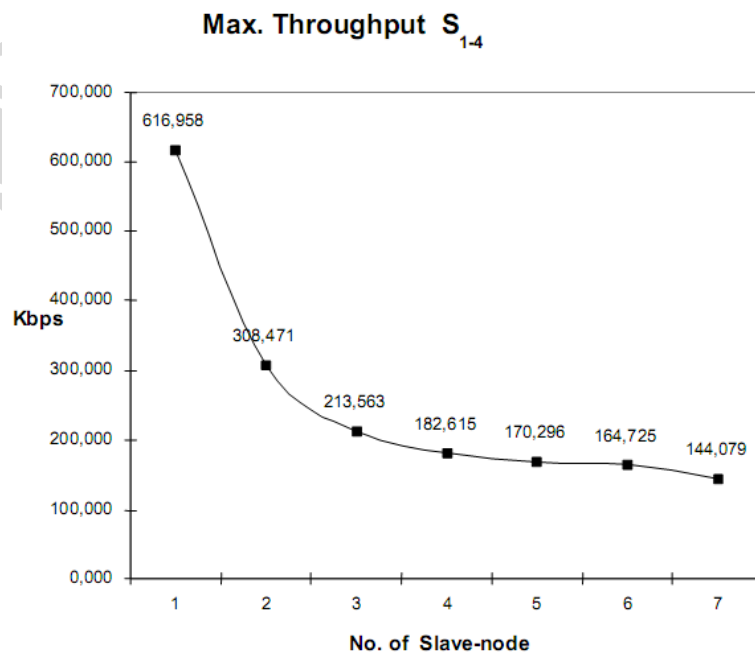


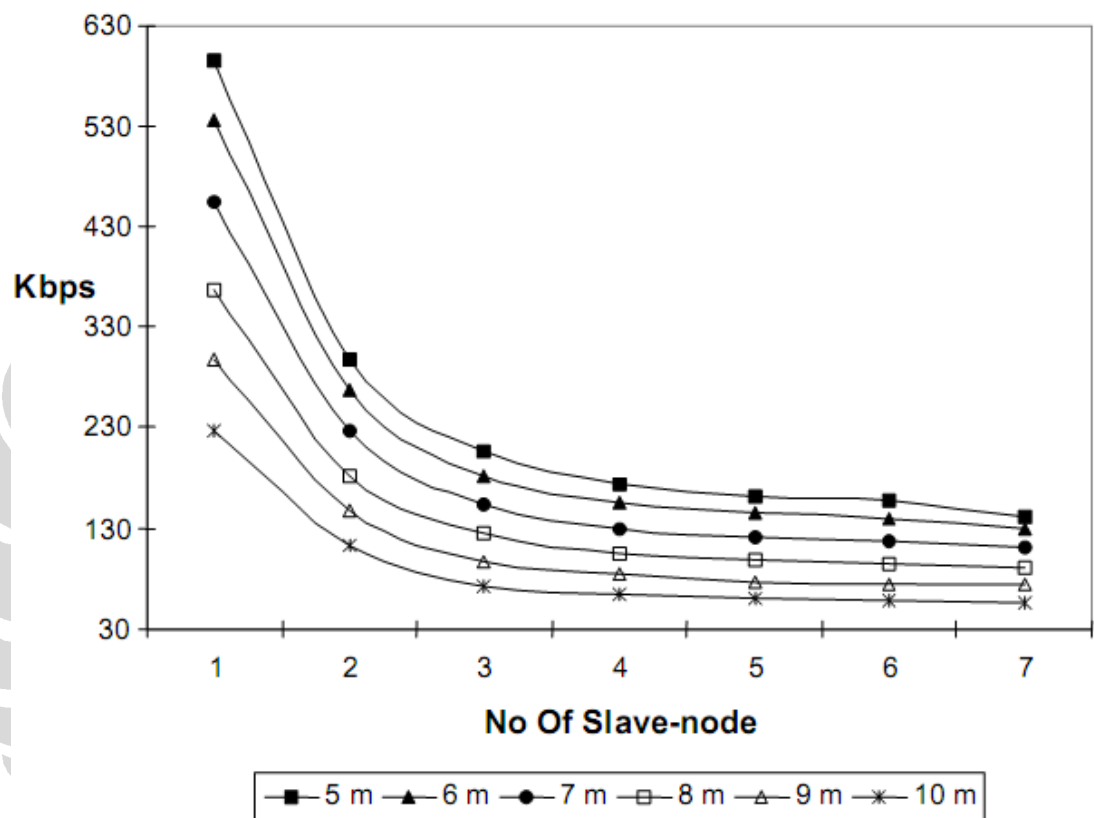
Gambar 4.1 Posisi Node [13]

HASIL SIMULASI

Untuk jarak 1 sampai dengan 4 meter diasumsikan tidak ada error untuk mendapatkan waktu tunda minimum dan *throughput* yang maksimum seperti yang diukur pada salah satu *slave node* berikut.

Gambar 4.2 *Throughput* Maksimum Tanpa Error [13]

Terlihat pada gambar 4.2, *throughput* pada jarak 4 meter dengan 7 *node* mencapai 144 Kbps. Untuk mengetahui efek error pada pengiriman paket IP pada Bluetooth personal Area Network, dilakukan simulasi pada jarak 5-10 meter. Hasil simulasinya adalah sebagai berikut.

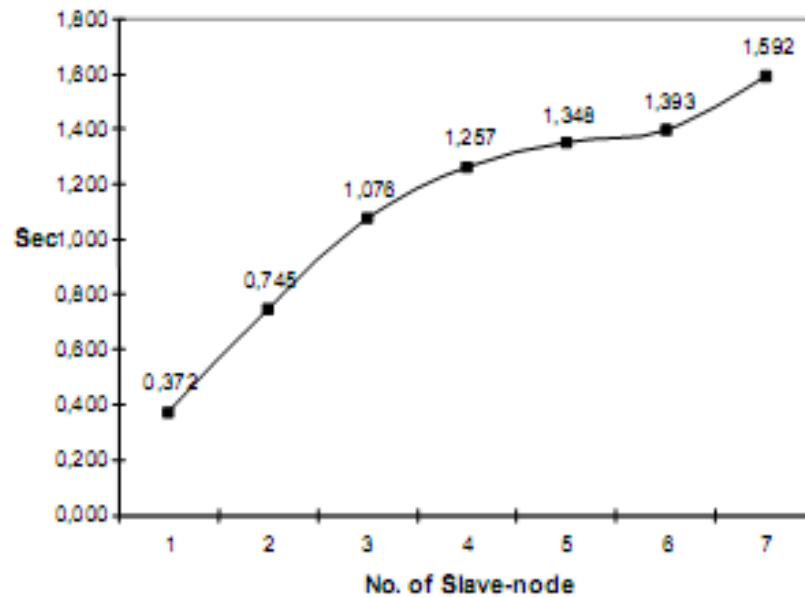


Gambar 4.3 *Throughput* pada Jarak 5-10 Meter. [13]

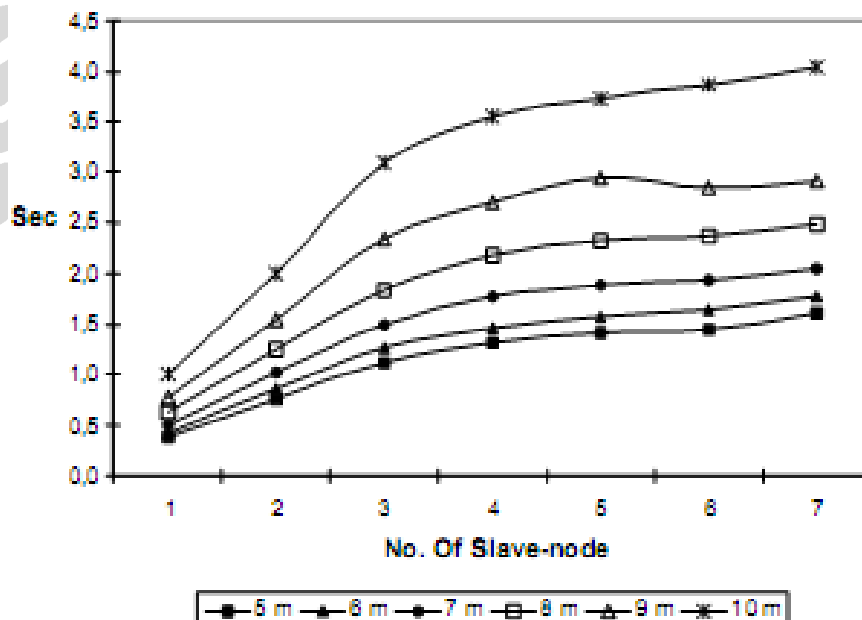
Dengan membandingkan *throughput* dari modem kabel (56 Kbps) dan mengambil asumsi bahwa Maximum Segment Lifetime dari paket IP adalah 2 menit [3], maka hasil simulasi Bluetooth sudah menunjukkan hasil yang layak, yaitu dengan *throughput* pada maksimal *slave node* untuk jarak maksimal mencapai lebih dari 50 Kbps.

4.1.2 Analisis Waktu Tunda

Dengan kondisi yang sama dengan analisis *throughput* pada 4.1.1, analisis waktu tunda didapatkan sebagai berikut.



Gambar 4.4 Waktu Tunda Rata-Rata Tanpa Error [13]



Gambar 4.5 Waktu Tunda Rata-Rata dengan Error pada Jarak 5-10 Meter.

[13]

Terlihat pada gambar 4.4 bahwa waktu tunda dengan jumlah node maksimum mencapai 1,5 detik untuk transmisi tanpa error, sementara dengan error bisa mencapai lebih dari 4 detik. Waktu tunda pada subbab 4.1.2 ini akan dibandingkan dengan waktu tunda Zigbee pada subbab 4.3.

4.1.3 Analisis energi

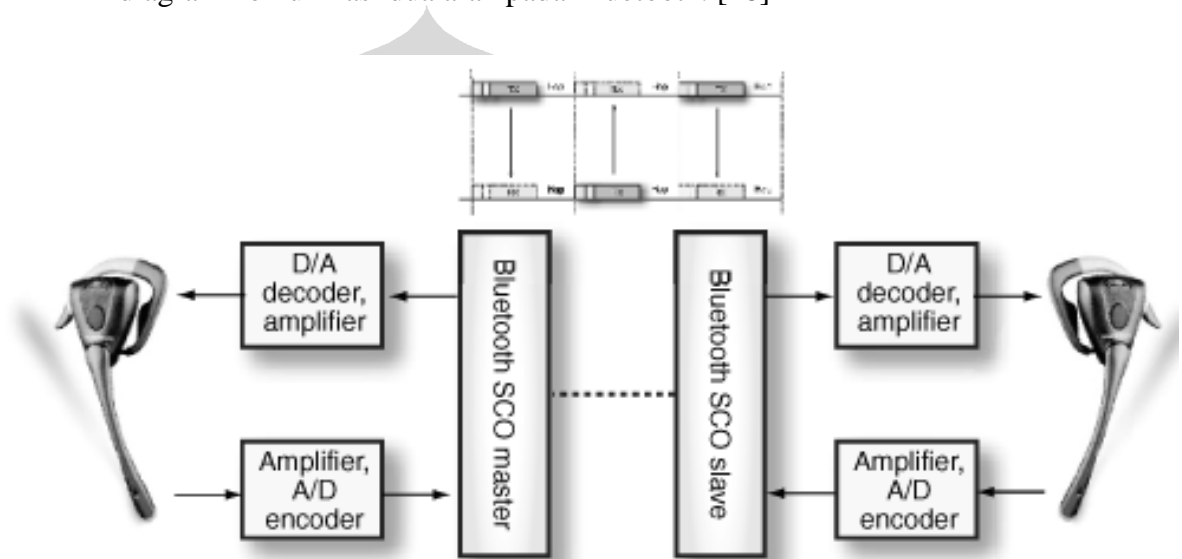
Jumlah konsumsi energi yang dihabiskan Bluetooth tergantung pada berapa lama Bluetooth diaktifkan. Bluetooth Special Interest Group (SIG) berusaha untuk mengurangi konsumsi energi Bluetooth pada setiap iterasi perkembangannya. Pada November 2004, Bluetooth SIG meratifikasi Bluetooth versi 2.0 + Enhanced Data Rate (EDR) yang mengintegrasikan metode baru untuk mengurangi konsumsi energi. Dengan EDR transmisi data pada Bluetooth akan menjadi tiga kali lebih cepat dari Bluetooth versi sebelumnya sehingga Bluetooth hanya aktif sepertiga lamanya dari Bluetooth terdahulu yang berarti hanya memakai energi sepertiga dari awalnya. Profil tenaga pada Bluetooth adalah harian. Optimasi energi pada Bluetooth dilakukan dengan memanfaatkan fungsionalitas adhoc.

4.1.4 Skalabilitas

Bluetooth mengalami masalah skalabilitas. Eksperimen menunjukkan bahwa memungkinkan untuk membuat jaringan Bluetooth hingga 15 node. Namun, banyak aplikasi membutuhkan jumlah node lebih banyak. Riset lebih jauh diarahkan pada isu ini. Bluetooth juga mengalami isu *vendor specific* sehingga menyulitkan untuk membuat jaringan dengan node yang heterogen. [3].

4.1.5 Akomodasi suara

Bluetooth mempunyai dua cara untuk mengubah suara menjadi bit, yaitu Pulse Code Modulation (PCM) dan Continuous Variable Slope Delta (CVSD). Kedua cara ini sangat berbeda walaupun membuat besar aliran data yang sama yaitu 64kbps. Suara di-*encode* menjadi aliran data dan dimasukkan ke *payload* paket HV untuk selanjutnya dikirim. Pada penerima, *payload* di-*decode* menjadi suara analog. Berikut adalah diagram komunikasi dua arah pada Bluetooth. [18]



Gambar 4.6 Komunikasi Suara Dua Arah Waktu Nyata Menggunakan Bluetooth [18]

Untuk menilai tingkatan dari kualitas audio digunakan Median Opinion Score (MOS) yang merupakan ukuran dari ITU-T dengan nilai 1 sebagai nilai terendah dan nilai 5 sebagai nilai tertinggi (menurut ITU-T, nilai 5 adalah tidak mungkin). Suara yang dikodekan dengan CVSD dengan 64 kbps mendapat nilai 2.46 pada skala MOS. Sedangkan codec ADPCM (Adaptive Differential Pulse Code Modulation) dengan *bit rate* 32 Kbps mencapai 4.14 pada skala MOS. ADPCM adalah modifikasi dari modulasi PCM.

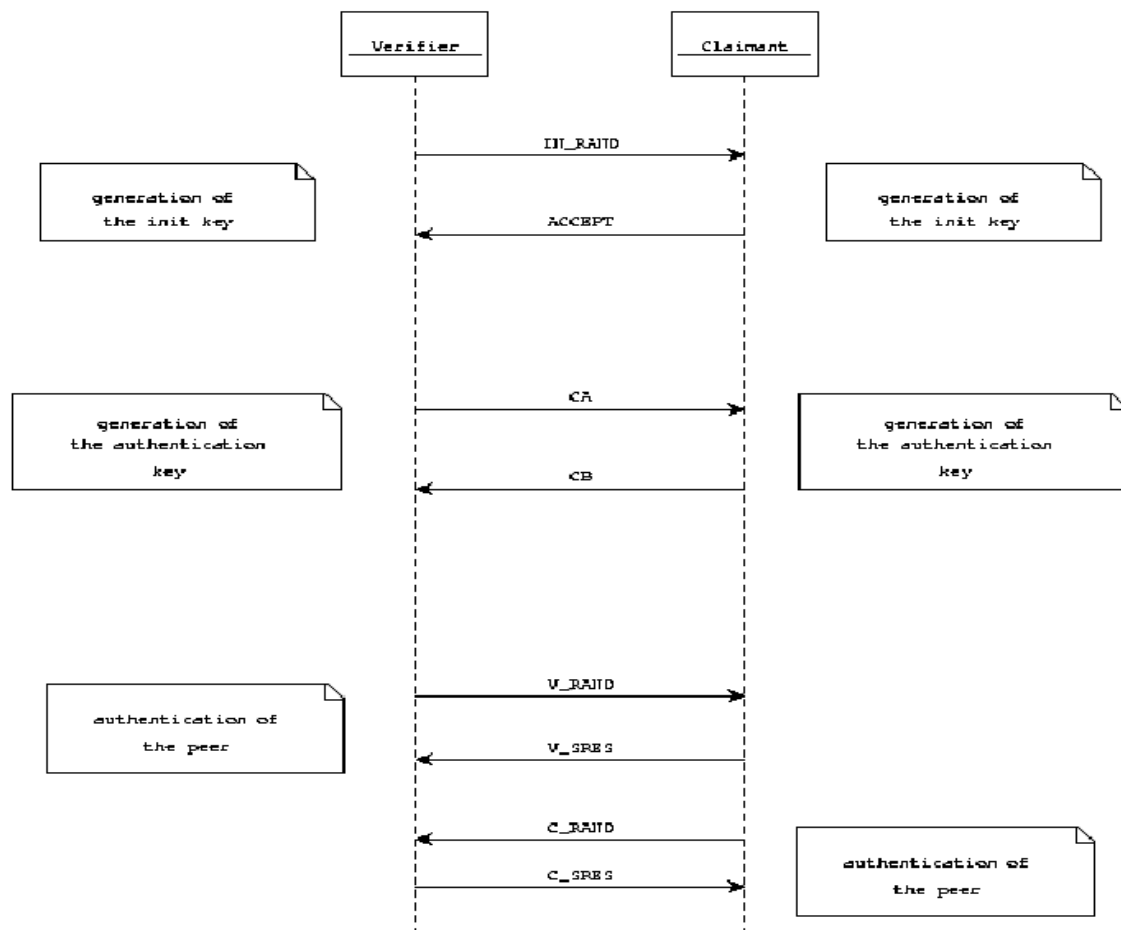
ADPCM membuat koneksi suara pada headset Bluetooth yang terhubung pada telepon genggam menjadi lebih akurat dan beroperasi lebih mudah pada lingkungan yang ribut. Dengan *bit rate* setengah dari yang dibutuhkan CVSD, terdapat potensi untuk mendukung lebih banyak aliran suara. CVSD bisa mendukung tiga aliran suara SCO yang simultan. ADPCM berpotensi mendukung sampai dengan tujuh aliran suara dengan kualitas yang lebih baik, namun untuk saat ini spesifikasi Bluetooth menyatakan bahwa Bluetooth bisa mendukung tiga aliran suara. [14]

4.1.6 Keamanan

Beberapa protokol keamanan diterapkan pada perangkat Bluetooth. Protokol-protokol tersebut adalah otentikasi dan enkripsi. Protokol-protokol ini beroperasi pada lapisan Link Manager. Metode-metode ini diterapkan pada prosedur koneksi *pairing*, yaitu hubungan yang aman terbentuk antara dua *node*.

1. Otentikasi

Otentikasi adalah proses satu pihak mengklarifikasi bahwa pihak lainnya adalah pihak sebagaimana yang dia akui. Dalam konteks Bluetooth, hal ini dilakukan melalui penggunaan PIN dan pengetahuan tentang alamat perangkat. Proses otentikasi adalah mekanisme *response and challenge*. Berikut adalah diagram proses otentikasi menggunakan mekanisme *response and challenge*.



Gambar 4.7 Proses otentikasi mekanismeresponse and challenge. [16]

Proses otentikasi meliputi tiga langkah, yaitu:

- a. Pembuatan kunci awal/ *initialization key*

Initialization key dibuat pada saat usaha *pairing* yang pertama dan digunakan untuk melindungi parameter inisialisasi dan membuat kunci otentikasi.

- b. Pembuatan kunci otentikasi/*authentication key*

Kunci otentikasi yang sama akan dipakai oleh kedua pihak untuk melakukan proses otentikasi.

- c. Otentikasi

Otentikasi bisa dilakukan dua kali pada proses pairing untuk mengotentikasikan kedua belah pihak. Dengan menggunakan PIN yang sama dan alamat perangkat, proses otentikasi bisa dilaksanakan. [16]

2. Enkripsi

Proses enkripsi dilaksanakan setelah proses otentikasi berhasil dilakukan dengan menggunakan kunci enkripsi yang berukuran 8-128 bit. Enkripsi hanya dilakukan pada *payload* dari paket, *header* tidak dienkripsi. Ukuran kunci bergantung pada hukum negara tempat enkripsi dilakukan. Proses enkripsi dilakukan melalui tiga tahap, yaitu:

- a. Negosiasi enkripsi
- b. Pembuatan kunci enkripsi
- c. Enkripsi

Bluetooth memiliki reputasi yang bagus dalam sistem keamanannya. Selama implementasi memenuhi beberapa persyaratan tertentu, belum ada serangan yang cukup berarti yang bisa mematahkan Bluetooth. [16]

4.1.7 Biaya

Pada awal tahun 2002, chipset Bluetooth memerlukan biaya produksi sekitar \$20 per buah. Perangkat ini berupa pengirim dan penerima yang bisa bertukar data dengan rate 1 Mbps termasuk implementasi protocol PHY dan MAC pada perangkat keras dan *firmware* (rutin-rutin perangkat lunak yang disimpan pada Read-Only Memory) dengan *built in host controller* dan *footprint* yang sangat sedikit.

Ada opini yang berkembang bahwa chipset Bluetooth bisa mencapai harga \$5 perbuah. Hal ini didasarkan asumsi bahwa dengan

memakai kabel membutuhkan \$10 sehingga harus dibagi dua untuk masing-masing perangkat Bluetooth karena Bluetooth memerlukan perangkat pengirim dan penerima. Namun, studi menunjukkan bahwa kebutuhan untuk perangkat keras tambahan pada chipset akan tetap membuat biaya implementasi di atas \$5 setidaknya untuk beberapa tahun ke depan.

Pada tahun 2008, harga produksi Bluetooth hanya \$4 dan karena Bluetooth beroperasi pada unlicensed radio spectrum, maka berkomunikasi antara dua perangkat Bluetooth tidak dikenakan biaya tambahan. [2]

4.2 Analisis Kinerja Zigbee

Analisis kinerja Bluetooth dilakukan pada metric berikut: *throughput*, waktu tunda, tenaga, skalabilitas, akomodasi suara, keamanan, dan biaya.

4.2.1 Analisis *Throughput*

Disebabkan rendahnya *data-rate* pada zigbee 868 MHz, maka *throughput* pada bagian ini didefinisikan sebagai jumlah bit per detik. Metrik ini hanya menghitung *throughput* tanpa memperhitungkan *overhead* lainnya pada jaringan. *Throughput* dihitung dengan menghitung jumlah paket yang berhasil diterima, kemudia menghitung jumlah bitnya, dan akhirnya dibagi dengan waktu simulasi. Total *throughput* jaringan adalah rata-rata dari semua node yang terlibat pada transmisi data.

$$\textit{Throughput pada satu node} = \frac{\text{jumlah bit yang diterima}}{\text{Waktu simulasi}}$$

Throughput pada jaringan =

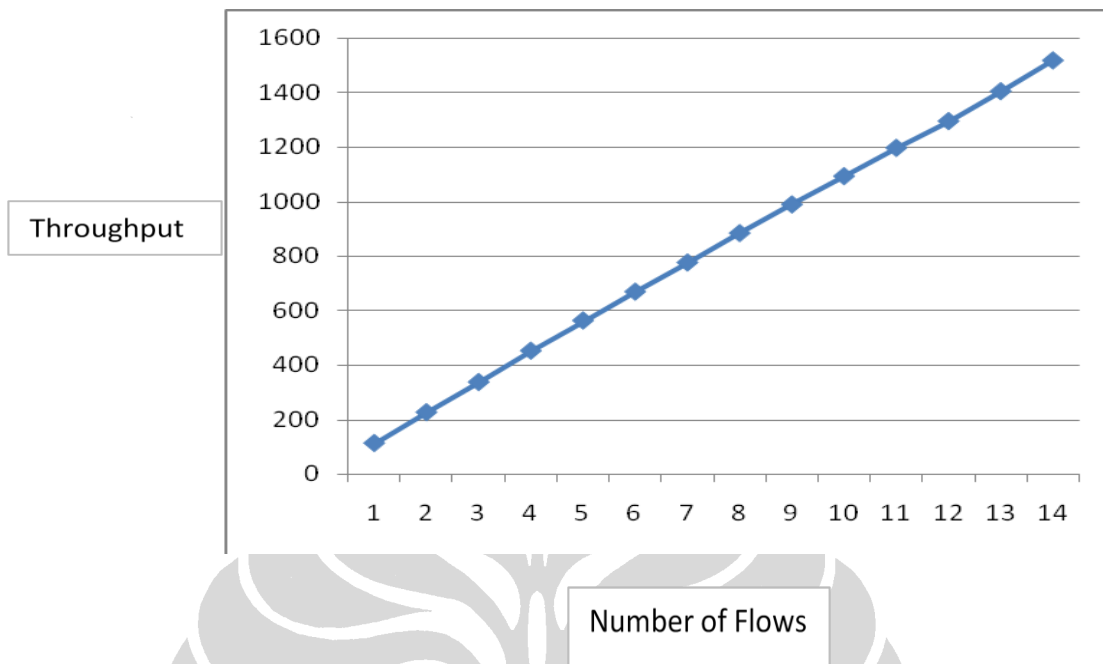
jumlah *throughput* semua *node* yang terlibat pada transmisi data

jumlah *node* yang terlibat pada transmisi data

Grafik berikut menjelaskan tentang analisis *throughput* pada 868MHz band pada data rate 0.2.

Tabel 4.1 Hasil Simulasi Hubungan antara Jumlah *Node* yang Aktif dan *Throughput*

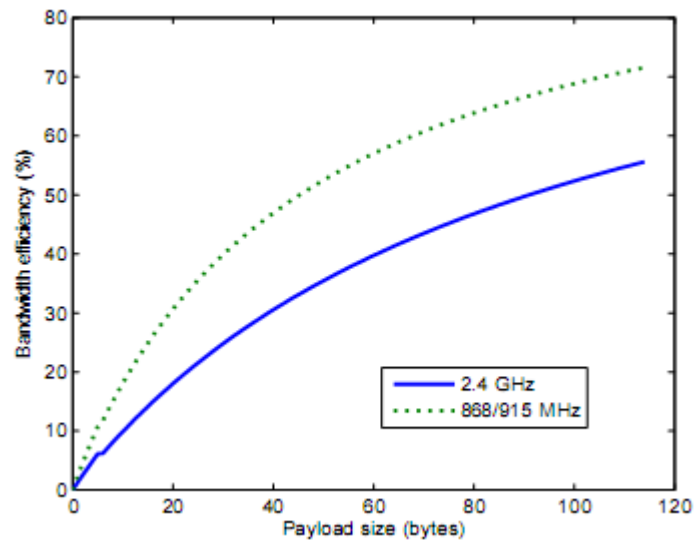
Jumlah Flow	<i>Throughput</i> (bps)
1	112
2	225
3	336
4	451
5	562
6	668
7	775
8	883
9	988
10	1092
11	1196
12	1294
13	1404
14	1517



Gambar 4.8 Grafik Relasi antara Jumlah *Node* yang Aktif dan *Throughput*

Gambar 4.8 menunjukkan bahwa *throughput* meningkat secara linear seiring dengan bertambahnya jumlah *node* yang aktif.

Bandwidth efisiensi pada frekuensi yang lebih tinggi yaitu 2,4 Ghz, lebih rendah daripada *bandwidth* efisiensi pada frekuensi 868 Mhz atau 915 MHz. Hal ini disebabkan frekuensi 868/915 MHz menggunakan BPSK sebagai skema modulasi (tabel 2.1) yang berarti hanya 1 bit per symbol, sementara 2.4 GHz menggunakan modulasi 16-ary orthogonal dengan 4 bit persymbol. Hal ini menyebabkan proporsi durasi *fixed* daripada jumlah informasi yang dapat disampaikan lebih besar pada frekuensi 2.4 GHz sehingga efisiensi *bandwidth* pada frekuensi yang lebih tinggi adalah lebih kecil [15]. Berikut adalah grafik perbandingan efisiensi *bandwidth* pada tiga frekuensi Zigbee.



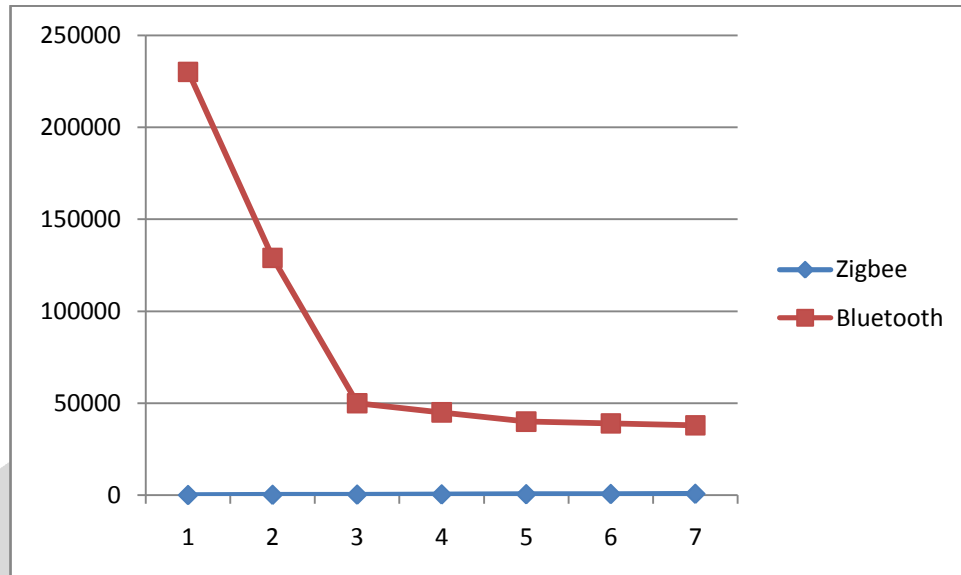
Gambar 4.9 Perbandingan Efisiensi *Bandwidth* pada 3 Frekuensi Zigbee.

Tabel 4.2 *Bit Rate* Maksimum dan Efisiensi *Bandwidth*

# address bits		868 MHz		915 MHz		2.4 GHz	
		Maximum bitrate (bps)	Maximum efficiency (%)	Maximum bitrate (bps)	Maximum efficiency (%)	Maximum bitrate (bps)	Maximum efficiency (%)
0 bits	ACK	15 322	76.6	30 644	76.6	148 780	59.5
	no ACK	16 627	83.1	33 254	83.1	162 234	64.9
16 bits	ACK	14 317	71.6	28 634	71.6	139 024	55.6
	no ACK	15 537	77.7	31 073	77.7	151 596	60.6
64 bits	ACK	12 810	64.1	25 620	64.1	124 390	49.8
	no ACK	13 901	69.5	27 802	69.5	135 638	54.3

Pada tabel 4.2 bisa dilihat bahwa efisiensi bandwidth maksimum pada frekuensi 2.4 GHz mencapai 64.9% pada kondisi optimum, yaitu tanpa alamat dan tanpa ACK, sedangkan efisiensi bandwidth terendah 49.8% terdapat pada saat menggunakan alamat yang panjang dan ACK. Efisiensi yang rendah ini disebabkan jumlah *overhead byte* relatif besar dibandingkan MPDU *payload*. Ukuran paket yang kecil ini ditujukan untuk menghindari tabrakan dan pemanfaatan medium yang adil serta sesuai dengan area aplikasi pada standar Zigbee. [15]

Berikut adalah perbandingan *throughput* antara Bluetooth dan Zigbee.



Gambar 4.10 Perbandingan *Throughput* Bluetooth dan Zigbee.

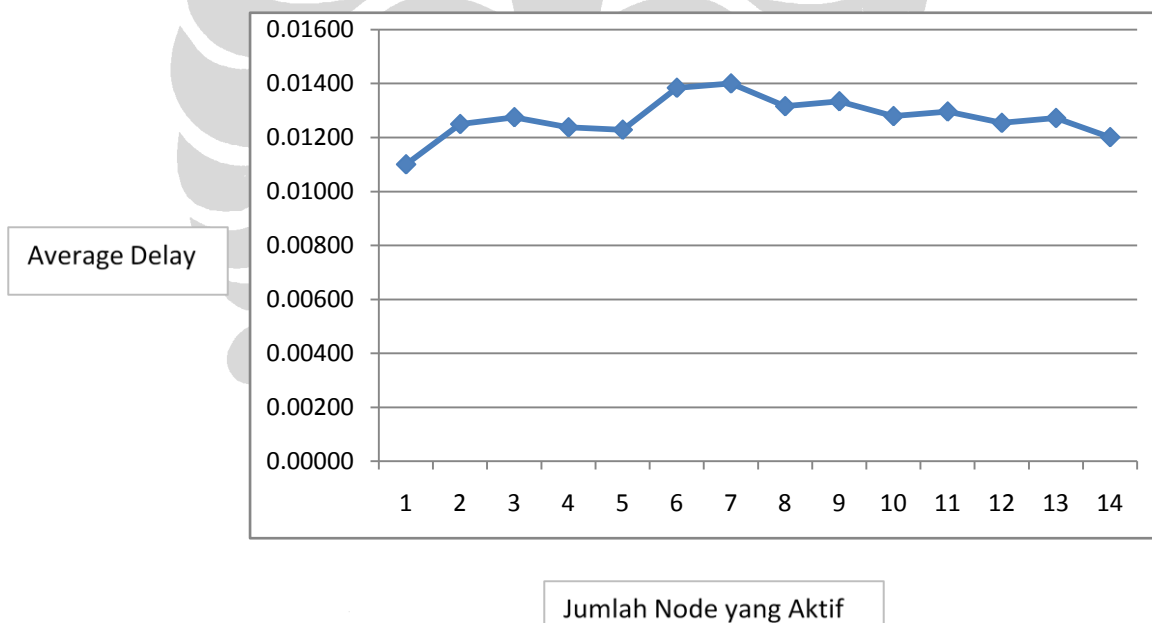
Terlihat dari gambar bahwa *throughput* Bluetooth masih jauh di atas Zigbee. Hal ini berpengaruh pada konsumsi energi.

4.2.2 Analisis Waktu Tunda

Waktu tunda atau *delay* adalah rata-rata waktu transmisi untuk semua paket data. Waktu tunda rata-rata adalah jumlah waktu tunda pada semua paket dibagi dengan jumlah paket.

Tabel 4.3 Waktu Tunda Maksimum, Minimum, dan Rata-Rata

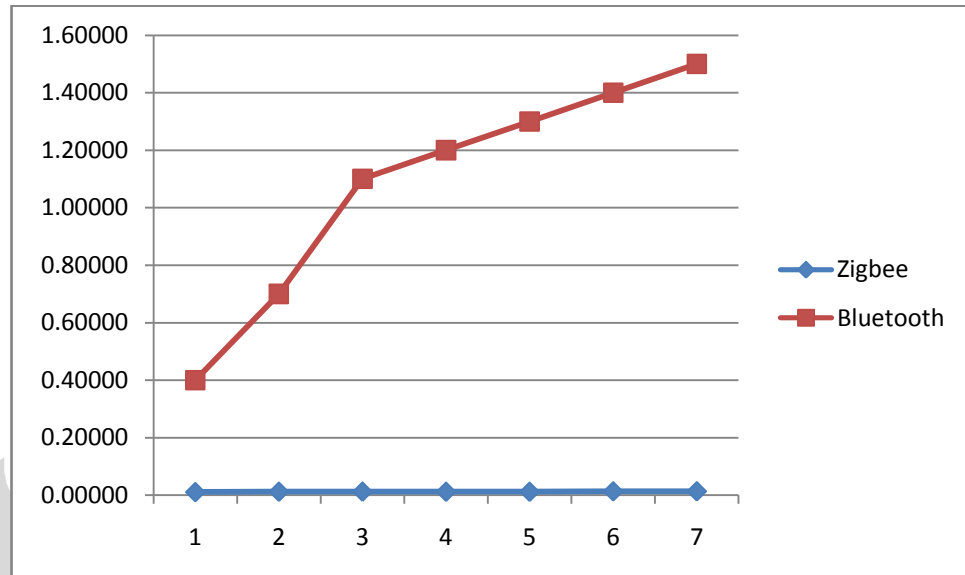
#flows	Waktu tunda minimum	Waktu tunda maksimum	Waktu tunda rata-rata
1	0.00522	2.04793	0.01100
2	0.00525	2.04793	0.01250
3	0.00524	2.04793	0.01275
4	0.00523	2.07545	0.01238
5	0.00521	2.07545	0.01229
6	0.00520	2.07545	0.01384
7	0.00522	2.07545	0.01400
8	0.00522	2.07545	0.01316
9	0.00522	2.07545	0.01334
10	0.00524	2.07545	0.01279
11	0.00520	2.07545	0.01296
12	0.00521	2.07545	0.01254
13	0.00520	2.07545	0.01272
14	0.00520	2.07545	0.01201



Gambar 4.11 Hubungan Jumlah Node yang Aktif dan Waktu Tunda Rata-Rata

Dari gambar 4. terlihat bahwa waktu tunda rata-rata tidak terlalu berbeda seiring meningkatnya jumlah node. Hal ini disebabkan jaringan belum terlalu macet sehingga bisa mengakomodasi node berjumlah 14.

Berikut adalah perbandingan waktu tunda Bluetooth dan Zigbee.

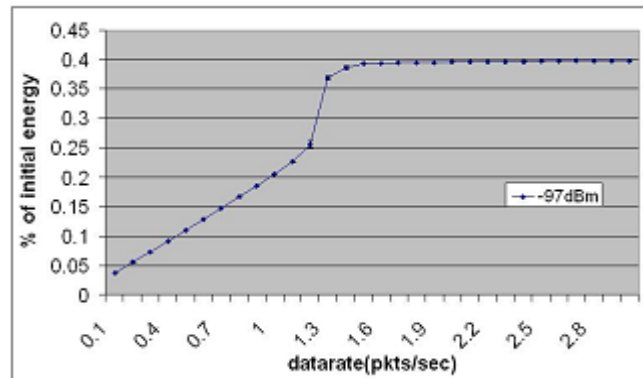


Gambar 4.12 Perbandingan waktu tunda Zigbee dan Bluetooth.

Seperti perbandingan *throughput* pada subbab 4.2.1, Zigbee memperlihatkan grafik yang jauh lebih rendah dari Bluetooth, namun untuk waktu tunda, arti grafik ini berkebalikan dengan *throughput*. Grafik 4. Terlihat bahwa Zigbee menunjukkan waktu tunda yang jauh lebih singkat. Hal ini merupakan salah satu karakteristik utama dari Zigbee.

4.2.3 Analisis Energi

Riset membuktikan bahwa selama jaringan bebas dari kemacetan untuk *data rate* lebih kecil atau sama dengan 2 paket/detik, kenaikan *throughput* yang kontinyu meningkatkan waktu jaga perangkat sehingga meningkatkan konsumsi energi. Untuk *data rate* yang lebih besar daripada 2 paket/detik, konsumsi energi bersifat stagnan pada angka 0.4% dari energi awal. Kenaikan yang besar pada rate 1.3 menandakan pada tahap ini jaringan sudah cukup padat. [21]



Gambar 4.13 Hubungan *Data Rate* dan Konsumsi Energi. [21]

Studi lain menyatakan bahwa keunggulan terbesar yang Zigbee tawarkan adalah efisiensi energi. Salah satu contohnya adalah The Westmont Hospitality Group di Kanada, salah satu organisasi perhotelan swasta terbesar di dunia, menghemat energi dengan menggunakan Zigbee pada beberapa penginapannya di area Toronto. Westmont menghemat lebih dari \$2.2 juta pada biaya energi per tahun. [23]

Salah satu cara Zigbee menghemat energi adalah dengan cara menurunkan asupan energi untuk *node* yang sedang tidak aktif. Cara ini secara signifikan memperpanjang umur penggunaan baterai. [1] Semua cara yang disebutkan sebelumnya memungkinkan baterai perangkat Zigbee hanya perlu diganti dalam hitungan tahun.

4.2.4 Skalabilitas

Zigbee didisain untuk mendukung jaringan yang sangat besar hingga 65.000 perangkat. Skalabilitas ini dicapai dengan menggunakan *mesh networking*. Pada *mesh networking*, perangkat berkomunikasi menggunakan jalan terbaik yang tersedia untuk pengiriman pesan. Jika satu jalan tidak bisa digunakan, jalan baru secara otomatis dibuat dan digunakan tanpa menghentikan operasi sistem. [23]

4.2.5 Akomodasi suara

Zigbee adalah teknologi nirkabel yang didisain untuk mengirimkan data dalam *rate* yang rendah, konsumsi tenaga yang kecil, dan dalam jarak dekat, sehingga pada dasarnya tidak ditujukan untuk transmisi suara. Namun, bila Zigbee telah dipasang pada jaringan untuk aplikasi kontrol dan *monitoring*, maka bisa dikembangkan untuk mengakomodasi aplikasi lain dengan kondisi tertentu.

Beberapa karakteristik Zigbee yang bisa mempengaruhi kemampuan Zigbee untuk membawa suara adalah:

1. *Bandwidth* yang terbatas. Hal ini mempengaruhi jumlah maksimum koneksi panggilan yang bisa diakomodasi.
2. Zigbee menggunakan CSMA/CA yang menambah waktu transmisi. Hal ini berpengaruh pada kualitas layanan atau QoS suara yang disampaikan.

Walaupun Zigbee menghadapi kendala-kendala tersebut, dengan spesifikasi tertentu, Zigbee bisa mengirim suara. Spesifikasi berikut akan diterapkan pada Zigbee untuk menguji kemampuannya mengirim suara:

1. *Non-beacon enabled*

Non-beacon mode merupakan sistem multipel akses tradisional yang digunakan pada jaringan *peer to peer* sederhana. Mode ini beroperasi seperti jaringan radio dua arah, dengan setiap klien independen satu sama lain dan bisa menginisiasi percakapan, namun bisa jadi interferensi satu sama lain secara tidak sengaja. Penerima bisa jadi tidak mendengar panggilan atau saluran sedang digunakan.

2. *Unsynchronized*

3. *Unslotted CSMA/CA*

4. Linear network topology

Dengan menggunakan NS2, simulasi mengenai pengiriman suara pada zigbee dengan parameter sebagai berikut:

1. Menggunakan dua tipe komunikasi suara: *full duplex* Voice over Internet Protocol (VoIP) dan *half duplex* Push to Talk (PTT).
2. *Linear network topology* dengan *N node*.
3. Jarak antara *node* yang berdekatan $D = 8$ meter.
4. Komunikasi suara hanya antara dua *end node*.
5. Transmission range (TXR), yaitu jarak maksimum transmisi bisa dilaksanakan dengan sukses adalah 15 meter.
6. Carrier Sense Range (CSR), yaitu jarak maksimum transmisi bisa dideteksi adalah 30 meter. [25]

Berikut adalah hasil simulasi kinerja VoIP pada zigbee menggunakan *R-factor*.

Tabel 4.4 R-factor dari VoIP pada jaringan Zigbee [25]

VoIP calls	One hop ¹		Two hops				Three hops ²
	W/O HC	W/HC	CSR = TXR		CSR = 2TXR		
			W/O HC	W/ HC	W/O HC	W/ HC	
1	78.9	79.2	< 0	55.7	75.6	78.0	< 0
2	78.7	79.1	< 0	< 0	< 0	< 0	< 0
3	3.6	79.1	< 0	< 0	< 0	< 0	< 0
4	<0	38.9	< 0	< 0	< 0	< 0	< 0

Dari tabel 4.3 terlihat bahwa dengan menggunakan hanya satu hop, tidak ada perbedaan apakah $CSR=TXR$ atau $CSR>TXR$. Juga terlihat bahwa bila ada tiga hop, nilai R selalu di bawah 0 walaupun $CRS=TXR$ atau $CSR=2TXR$ dan juga tidak dipengaruhi oleh header compression. Jarak terjauh yang bisa dicapai Zigbee untuk transmisi suara dengan VoIP adalah pada satu hop dengan header compression, yaitu sebesar 78. Dengan menggunakan tabel 4. Didapatkan nilai MOS untuk $R=78$ adalah sekitar 3,6-4,0. Sedangkan dengan 4 hop, nilai R transmisi suara pada Zigbee adalah 38,9 yang berarti dibawah 2,6 pada skala MOS. Nilai R terbaik yang diperoleh Zigbee adalah 79,2 yang berarti hampir mencapai 4,0 pada skala MOS.

Tabel 4.5 Konversi nilai R factor ke MOS [7]

R-Factor	MOS
90	43 (4.3)
80	40 (4.0)
70	36 (3.6)
60	31 (3.1)
50	26 (2.6)

4.2.6 Keamanan

Keamanan dan integritas data adalah salah satu keunggulan Zigbee. Zigbee mengaplikasikan protokol keamanan dari IEEE 902.15.4 pada lapisan MAC melalui empat layanan keamanan berikut:

1. Pengontrolan akses. Hal ini dilakukan dengan cara perangkat menyimpan daftar dari perangkat yang terpercaya di dalam jaringan.
2. Enkripsi data menggunakan *symmetric key* 128 bit AES.
3. Integritas *frame* untuk melindungi data dari modifikasi oleh pihak yang tidak memiliki kunci yang benar.

4. Pengontrol jaringan membandingkan nilai dari *data frame* dengan nilai terakhir yang disimpan pada perangkat. Bila nilai pada *data frame* tidak diperbaharui sesuai dengan nilai yang baru, maka *data frame* tersebut ditolak.

Pada jaringan yang berukuran besar, identitas node sangat diperlukan. Hal ini bisa ditangani dengan kriptografi dengan *public key* yang memungkinkan pengiriman dan penerimaan data secara aman dari dan ke node tersebut. Sebuah *key* yang unik akan dilekatkan pada suatu *node* dan *key* lainnya yang terhubung secara matematika dengan *key* tersebut akan digunakan oleh jaringan untuk mengidentifikasi *node* tersebut.

4.2.7 Biaya

Pada tahun 2002, wakil presiden Phillips Research, Fred M. Boekhorst, menyatakan bahwa Zigbee ditargetkan untuk mencapai harga \$2 setahun kemudian. Zigbee akan beroperasi pada kecepatan 10 kbps-115,2 kbps, jangkauan dari 10-75 meter, dan dengan menggunakan baterai AA bisa bertahan untuk enam bulan hingga dua tahun. [23]. Pada tahun 2007, harga Zigbee sudah mencapai \$1 atau kurang per buah. [9]

Pada presentasi Zigbee pada 2004 Customer Electronics Show di Las Vegas dibuktikan bahwa biaya implementasi Zigbee hanya setengah dari biaya implementasi Bluetooth. [6]

4.3 Perbandingan Bluetooth dan Zigbee

Berikut adalah ringkasan perbandingan Bluetooth dan Zigbee.

1. Bluetooth memiliki *data rate* dan *throughput* yang lebih besar daripada Zigbee. Untuk jumlah *slave node* tujuh dan jangkauan 10 meter,

throughput Bluetooth mencapai sekitar 40-50 kbps. Ini jauh di atas *throughput* Zigbee dengan jumlah *node* aktif sama, yaitu 0,775 kbps.

2. Zigbee menunjukkan waktu tunda yang lebih singkat daripada Bluetooth. Untuk jumlah *slave node* tujuh dan jangkauan 10 meter, Bluetooth menunjukkan waktu tunda sekitar 1-1,5 detik sementara Zigbee menunjukkan waktu tunda rata-rata sebesar 0,014 detik.
3. Profil tenaga Bluetooth hanya bisa bertahan dalam hitungan hari sementara Zigbee bisa bertahan untuk hitungan tahun.
4. Riset menunjukkan bahwa Bluetooth mengalami masalah skalabilitas dengan jumlah *node* maksimal 15 sedangkan Zigbee bisa menggunakan *node* hingga 65.000 buah.
5. Bluetooth menyediakan fondasi yang solid untuk komunikasi suara. Dengan menggunakan modulasi ADPCM, komunikasi suara melalui Bluetooth mencapai nilai 4.14 pada skala MOS dan bisa mengakomodasi tiga aliran suara, ADPCM berpotensi mendukung hingga 7 aliran suara yang simultan. Nilai terbaik yang diperoleh Zigbee pada skala MOS hampir mencapai 4,0 untuk satu hop dan menggunakan *header compression*.
6. Bluetooth dan Zigbee sama-sama menawarkan paket keamanan yang lengkap. Bluetooth dilengkapi dengan sistem algoritma kriptografinya sendiri untuk menangani berbagai kemungkinan serangan. Selama beberapa persyaratan dipenuhi pada implementasi, serangan-serangan umumnya bisa dipatahkan. Sedangkan Zigbee mengimplementasikan AES pada lapisan MAC. Di atas lapisan MAC, Zigbee menyediakan mekanisme keamanan untuk produksi dan distribusi kunci yang mendukung berbagai versi aplikasi untuk rumah, industri, dan komersial.
7. Pada segi biaya, Bluetooth mencapai harga terendah pada \$4 dan Zigbee pada harga \$2.

Bluetooth dengan *data rate* yang bisa mencapai 1 Mbps dan kemampuannya untuk mengakomodasi suara dengan baik telah menjadikannya cocok sebagai pengganti kabel. Bluetooth baik digunakan untuk aplikasi seperti perangkat cerdas (PDA, telepon genggam, komputer personal), *data peripheral* (*mouse, keyboard, joystick, LAN acces point, kamera, printer*), *audio peripheral* (*headset, speaker, stereo receiver*), dan aplikasi *embedded*.

Bluetooth terus dikembangkan untuk meliputi lebih banyak aplikasi sambil tetap memperbaiki kualitas layanannya, hal ini membuat Bluetooth menjauh dari konsep kesederhanaan. Kompleksitas Bluetooth membuatnya tidak cocok untuk aplikasi yang membutuhkan biaya yang rendah dan konsumsi tenaga yang sedikit. Bluetoothpun mengalami masalah dengan kurangnya fleksibilitas pada topologinya seperti yang terlihat pada scatternet. Studi menunjukkan bahwa Bluetooth mengalami masalah skalabilitas. [3]

Kemampuan Zigbee untuk menghemat penggunaan sumber tenaga dan *data ratenya* yang rendah, membuatnya cocok untuk aplikasi *controlling* dan *monitoring* sehingga memberikan landasan yang kuat untuk otomatisasi. Zigbee bisa diaplikasikan untuk kategori aplikasi berikut ini:

1. *Monitoring*

Pada kategori ini, Zigbee bisa diimplementasikan untuk sistem pengawasan, alarm kebakaran, sensor tekanan, sistem pengamatan kesehatan dan lingkungan.

2. Pengontrolan

Zigbee bisa diaplikasikan pada sistem pengontrolan kesehatan, lingkungan, sensor, otomatisasi rumah dan gedung.

3. Efisiensi

4. Konservasi

Pada industri, sensor disebarkan untuk mengawasi status suatu mesin dan menginformasikannya pada stasiun pengontrol secara periodik. Thermostat, sensor tekanan, *boiler* tidak memerlukan pengawasan sepanjang waktu, sementara sistem keamanan memerlukan pengawasan yang intensif. Untuk setiap kejadian yang tidak normal, perangkat sensor Zigbee mengirim informasi pada *master node*. *Master node* kemudian mengambil tindak lanjutnya seperti pemanggilan petugas keamanan atau staf yang bertanggungjawab.

Disamping itu, transfer data nirkabel pada Zigbee memungkinkan bus berkomunikasi dengan stasiun bus sehingga memungkinkan kedatangan dan keberangkatan bisa ditampilkan secara akurat.

Secara teori, ada banyak sekali aplikasi yang bisa diakomodasi oleh Zigbee, tergantung pada seberapa jauh pemanfaatan fleksibilitas dan layanan yang ditawarkan Zigbee.

BAB IV

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS

Pada bab ini dijelaskan analisis kinerja Bluetooth dan Zigbee berdasarkan parameter-parameter yang dijelaskan pada bab 3.1 dan diakhiri dengan ringkasan perbandingan Bluetooth dan Zigbee.

4.1 Analisis Kinerja Bluetooth

Analisis kinerja Bluetooth dilakukan dengan pada metrik: *throughput*, waktu tunda, tenaga, skalabilitas, akomodasi suara, keamanan, dan biaya.

4.1.1 Analisis *Throughput*

Sebuah simulasi diadakan untuk meneliti *throughput* dan *delay* sebagai fungsi dari jumlah *slave node* pada satu piconet dan jarak antara *slave node* dan *master node*. Simulasi ini dilakukan pada aplikasi berbasis TCP/IP pada Bluetooth menggunakan Bluehoc Simulator, ekstensi simulator TCP/IP pada NS-2. [13]

Pada simulasi ini, aplikasi FTP dengan ukuran paket 1500 bytes dan menggunakan model Bluetooth Group ad-hoc network dengan satu *master node* dan maksimum 7 *slave node* (pada satu piconet). Jarak yang digunakan pada simulasi ini adalah rentang 1-10 meter.