

STUDI PROTOKOL NIRKABEL ZIGBEE IEEE 802.15.4

Yetty Wiati Ningsih¹, Soeharwinto²

Konsentrasi Teknik Komputer, Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara (USU)
Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 INDONESIA
e-mail: yettywiaty@gmail.com

ABSTRAK

Protokol IEEE 802.15.4 merupakan pengembangan dari komunikasi nirkabel Bluetooth, yang menangani keterbatasan jarak jangkauan dan penerapan pada perangkat dengan spesifikasi *data rate* rendah, konsumsi daya rendah, biaya rendah dan mampu menangani lebih dari 65000 perangkat, dibandingkan dengan Bluetooth yang beroperasi dengan jarak maksimal 10 meter dan mampu menangani 8 perangkat. Tulisan ini membahas tentang konsep dasar dan mekanisme kerja *physical layer* dan *medium access control sublayer* (MAC sublayer) pada IEEE 802.15.4, dimana *phy layer* terdiri dari *physical radio transceiver* dengan mekanisme *low-level control* berfungsi untuk menyuplai informasi dan penyedia *interface* antara MAC sublayer dan kanal radio, sedangkan MAC sublayer dilengkapi dengan mekanisme CSMA-CA berfungsi untuk mendeteksi keadaan kanal (*busy* atau *idle*) sebelum mengirimkan data agar dapat menghindari tabrakan.

Kata Kunci: protokol IEEE 802.15.4, *physical layer*, MAC sublayer.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi nirkabel ditandai dengan banyaknya permintaan masyarakat akan perangkat yang dapat mengakses data dan terkoneksi dengan jaringan internet dimana pun berada pada sebuah perangkat seperti Laptop dan ponsel. Protokol IEEE 802.15.4 mampu menangani kelemahan yang terdapat dalam teknologi nirkabel sebelumnya, yaitu Bluetooth yang memiliki keterbatasan pada jarak jangkauan yang hanya 10 meter, sedangkan IEEE 802.15.4 mampu melewati jarak jangkauan maksimal hingga 30 meter.

Protokol IEEE 802.15.4 beroperasi pada 3 band frekuensi, yaitu 868 MHz untuk daerah Eropa, 915 MHz untuk daerah Amerika dan 2400 MHz untuk daerah lainnya diseluruh dunia. Semakin rendah frekuensi yang digunakan maka akan semakin baik karena sinyal yang dihasilkan mampu beroperasi pada ruangan yang memiliki penghalang seperti dinding atau benda padat lainnya. Oleh karena itu, protokol IEEE 802.15.4 sering dimanfaatkan bersamaan dengan *wireless sensor network* (WSN) sebagai pemantau dan pengontrol lingkungan sekitar.

2. Komunikasi Data Nirkabel

Lahirnya komunikasi nirkabel memiliki beberapa keuntungan, diantaranya adalah selain menghemat biaya karena mengabaikan biaya

pemasangan dan perawatan kabel, komunikasi ini juga mampu menjangkau daerah yang sulit dijangkau oleh jaringan berkabel. Salah satu perangkat komunikasi nirkabel adalah sistem seluler, dimana sistem komunikasi ini mampu menggantikan sistem jaringan telepon berkabel dengan ponsel. Sebuah jaringan seluler memiliki banyak pelanggan nirkabel yang terdiri dari penggunaan ponsel yang dapat digunakan dengan mudah dimana saja dan kapan saja tanpa harus terhubung dengan kabel atau perangkat *stationer*.

2.1 WLAN

Wireless local area network (WLAN) merupakan protokol IEEE 802.11 yang menyediakan akses data berkecepatan tinggi dalam suatu cakupan wilayah yang kecil dan mampu menggantikan jaringan berkabel dengan teknologi gelombang radio sebagai media transmisinya. WLAN biasa digunakan untuk komunikasi antar perangkat komputer, seperti memberi koneksi jaringan ke seluruh pengguna komputer dengan mengirimkan dan menerima data melalui media udara. WLAN bekerja pada frekuensi 2.4 GHz (untuk 802.11b dan 802.11g) atau 5 GHz (untuk 802.11a) dengan jarak jangkauan antara 30–100 meter. Yang termasuk dalam aplikasi WLAN adalah PC (*personal computer*), Laptop, PDA, telepon seluler, dan lain sebagainya.

2.2 Bluetooth

Bluetooth termasuk dalam komunikasi WPAN (*wireless personal area network*) yang merupakan komunikasi nirkabel berdaya rendah, berbiaya murah dan memiliki daya jangkau yang tidak terlalu jauh, yaitu 10 meter. Bluetooth beroperasi pada band frekuensi 2.4 GHz dengan *data rate* sebesar 1–3 Mbps. Spektrum penyebaran yang digunakan adalah FHSS (*frequency hopping spread spectrum*) yang membuat jaringan pada Bluetooth (*piconet*) dapat beroperasi pada satu wilayah tanpa mengalami interferensi satu sama lain dan mengizinkan 8 perangkat untuk dapat berkomunikasi secara bersamaan. Penerapannya meliputi perangkat elektronik seperti jaringan sensor, *smarthome*, kontrol industri, dan lain-lain. Contoh penerapan Bluetooth pada perangkat yang paling populer adalah *headset nirkabel* yang menghubungkan antara *hands-free* dengan ponsel.

2.3 Protokol IEEE 802.15.4

Protokol IEEE 802.15.4 adalah komunikasi tingkat tinggi yang diterapkan pada perangkat pribadi maupun bisnis yang dapat menangani hingga 65000 perangkat secara bersamaan dalam satu jaringan. Protokol ini beroperasi pada 3 band frekuensi, yaitu 868 MHz di Eropa, 915 MHz di Amerika dan 2400 MHz untuk daerah diseluruh dunia.

Contoh perangkat yang termasuk dalam protokol IEEE 802.15.4 adalah Zigbee dengan spesifikasi *data rate* sebesar 250 kbps, jarak jangkau 30 meter dan dapat disuplai dengan kekuatan baterai yang dapat bertahan lebih lama tanpa pengisian ulang sesuai spesifikasinya. Zigbee biasa diterapkan pada jaringan sensor nirkabel (WSN) dan termasuk dalam komunikasi berdaya rendah dan berbiaya murah.

3. Metodologi Penelitian

Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam studi ini adalah dengan mencari dan mengumpulkan data dari literatur seperti media cetak maupun elektronik sebagai sumber referensi, kemudian merumuskan data tersebut sehingga diketahui konsep dasar dan mekanisme kerja dari protokol IEEE 802.15.4.

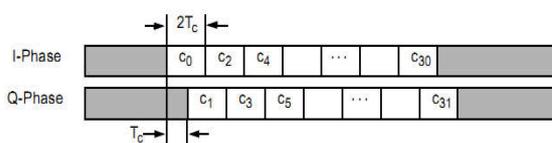
3.1 Karakteristik Fisik

Adapun karakteristik fisik dari protokol IEEE 802.15.4 yang didapatkan dari hasil studi berdasarkan literatur dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik Fisik [1]

| PHY (MHz) | Band Frekuensi (MHz) | Parameter Penyebaran | | Parameter Data | | |
|-----------|----------------------|----------------------|----------|-----------------|-------------------------|---------------------|
| | | Chip rate (kchip/s) | Modulasi | Bit rate (kb/s) | Symbol rate (ksymbol/s) | Modulasi |
| 868 & 915 | 868-868.6 | 300 | BPSK | 20 | 20 | Binary |
| | 902-928 | 600 | BPSK | 40 | 40 | Binary |
| 2400 | 2400-2483 | 2000 | O-QPSK | 250 | 62.5 | 16-array Orthogonal |

Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa *chip rate* tertinggi dihasilkan oleh perangkat yang beroperasi pada band frekuensi 2400 MHz, yaitu sebesar 2 MChip/s dengan teknik modulasi OQPSK (*offset quadrature phase shift keying*) dengan setengah gelombang sinus yang mampu mengkodekan 2 bit/symbol (simbol 00, 01, 11, 10) yang masing-masing diposisikan sejauh 90° . Dalam modulasi OQPSK ada pengelompokan yang melibatkan masing-masing 4 bit data kedalam data simbol dan kemudian akan dikelompokkan lagi menjadi urutan 32 chip *pseudo-random noise sequence* (PN) yang mampu mengubah sinyal *data rate* sebesar 250 kbps menjadi ukuran *chip rate* sebesar 2 MChip/s (merupakan 32 kali *symbol rate* pada data simbol). Setelah pengelompokan selesai, maka chip akan dibagi menjadi 2 kanal, yaitu kanal *In-phase* untuk bit genap dan kanal *Q-phase* untuk bit ganjil. Keduanya tidak akan berubah dalam waktu yang bersamaan dan akan dimodulasikan secara terpisah. Untuk membentuk *Offset* diantara keduanya, maka kanal *Q-phase* akan mengalami penundaan oleh T_c selama 0.5 ms seperti pada Gambar 1.



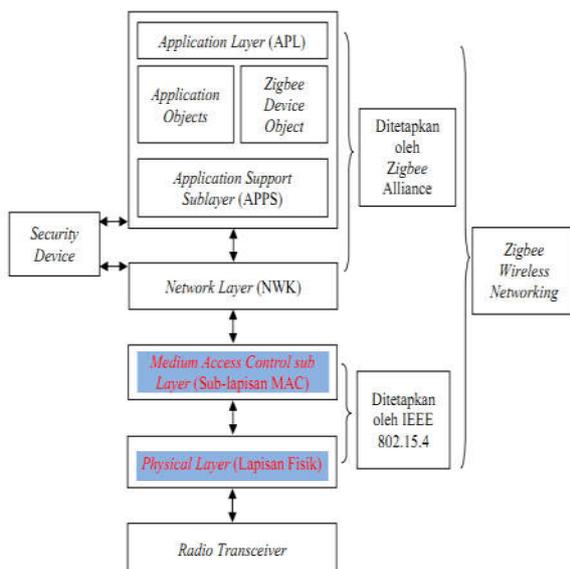
Gambar 1 OQPSK Chip Stream [2]

Berbeda dengan modulasi BPSK (*binary phase shift keying*) yang digunakan oleh perangkat yang beroperasi pada band frekuensi 868–912 MHz, dimana modulasi ini merupakan modulasi yang menumpangkan sinyal informasi ke sinyal *carrier* dengan membawa dua bit informasi (0 dan 1) dalam pentransmisian yang diposisikan pada sebuah lingkaran dengan jarak sejauh 180° (biner 1 diposisikan pada fasa 0° dan biner 0 diposisikan pada fasa 180°).

sehingga simbol-simbol tersebut dapat ditransmisikan dengan energi yang sama.

3.2 Arsitektur Protokol

Arsitektur protokol IEEE 802.15.4 didefinisikan dalam bentuk *layer* atau lapisan yang digunakan untuk menyederhanakan standar yang dipakai berdasarkan model referensi OSI yang bertanggung jawab dan menawarkan layanan untuk lapisan yang lebih tinggi. Protokol IEEE 802.15.4 mendefinisikan dua lapisan terbawah, yaitu lapisan fisik dan sublapisan MAC yang digunakan untuk mendefinisikan pengaturan daya, pengalamatan, format pesan dan komunikasi radio. Sedangkan pada lapisan teratas yang terdiri dari lapisan jaringan berfungsi untuk menyediakan konfigurasi jaringan, manipulasi dan *routing* pesan, dan lapisan aplikasi yang menyediakan fungsi yang ditujukan perangkat, didefinisikan oleh Zigbee Alliance yang merupakan sebuah perusahaan pencipta perangkat teknologi berdaya rendah dan berbiaya murah, seperti pada Gambar 2.



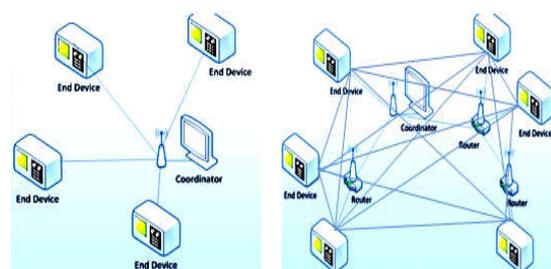
Gambar 2 Arsitektur Protokol IEEE 802.15.4 [1]

Dari Gambar 2, terlihat bahwa arsitektur dari protokol IEEE 802.15.4 mendefinisikan dua lapisan terbawah, yaitu lapisan fisik yang terdiri dari *radio frequency transceiver* dengan mekanisme *low-level control*, yang dapat mensuplai informasi untuk lapisan di atasnya dan menyediakan antarmuka antara sublapisan MAC dan kanal radio melalui *firmware* dan perangkat keras RF. Fitur-fitur dari lapisan fisik

adalah aktivasi dan deaktivasi *transceiver* radio, *energy detection* (ED), *Link Quality Indication* (LQI), *Clear Channel Assessment* (CCA), dan pemilihan kanal. Sedangkan sublapisan MAC menjaga dan mengatur komunikasi antara beberapa *station* yang berfungsi sebagai pengatur akses protokol ke media fisik jaringan dan mengkoordinasi akses dalam menggunakan kanal radio untuk mempermudah komunikasi melalui media nirkabel. Sublapisan MAC juga menyediakan antarmuka untuk satu lapisan dibawahnya dan satu lapisan diatasnya (antara lapisan fisik dan lapisan *transport*) dengan mekanisme protokol CSMA-CA yang merupakan protokol pengatur transmisi paket pada perangkat berdasarkan pada keadaan kanal, sibuk atau *idle*. Adapun fitur-fitur yang dimiliki sublapisan MAC adalah mendukung asosiasi dan disosiasi PAN, manajemen *beacon*, menggunakan protokol CSMA-CA untuk akses kanal, manajemen GTS (*guaranteed time slots*), validasi *frame* dan pengiriman *frame acknowledgement* (ACK).

3.3 Topologi

Protokol IEEE 802.15.4 mendukung dua jenis topologi, yaitu topologi *star* dan topologi *mesh* seperti pada Gambar 3.



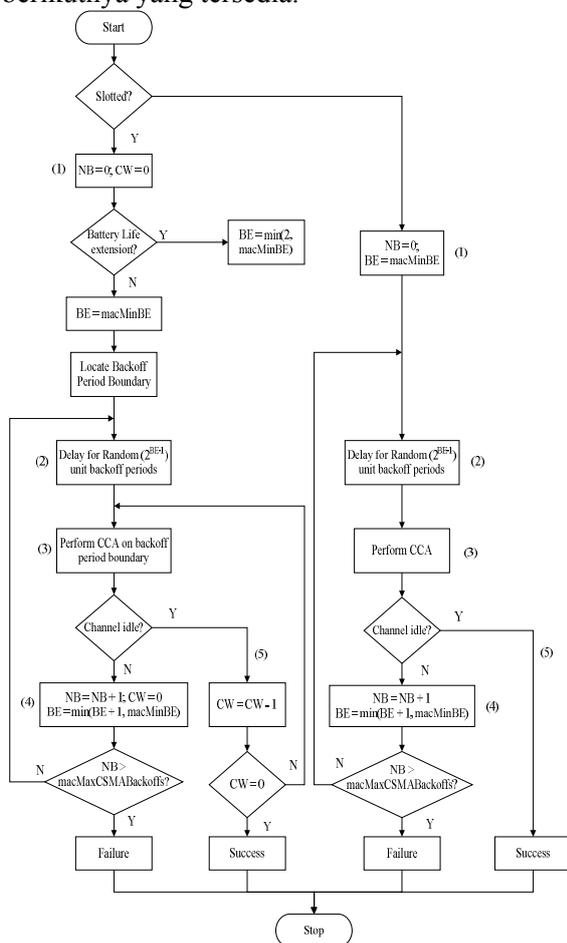
Gambar 3 Jenis Topologi [3]

Dari Gambar 3, diketahui bahwa dalam topologi *star*, komunikasi dibangun oleh beberapa perangkat dan sebuah koordinator PAN dengan posisi membentuk lingkaran sempurna dengan besar sudut yang sama sesuai dengan jumlah perangkat. Sedangkan topologi *mesh* memiliki formasi jaringan yang lebih lengkap untuk diimplementasikan, yaitu dengan menempatkan perangkat, koordinator dan koordinator PAN dengan jarak secara bebas.

3.4 Carrier Sense Multiple Access Collision with Collision Avoidance (CSMA-CA)

Dari Gambar 4, terlihat bahwa protokol CSMA-CA bekerja dalam 2 mode, yaitu mode

slotted dan unslotted. Pada mode slotted CSMA-CA yang biasa digunakan dalam jaringan beacon-enabled, perangkat akan mengirimkan data selama periode CAP (contention access period) dan harus menentukan batas-batas periode backoff agar sesuai dengan batas-batas slot superframe, yakni awal dimulainya periode backoff harus sejalan dengan awal dimulainya transmisi beacon pada superframe. Jika kanal dalam keadaan sibuk, maka perangkat harus menunggu sejumlah slot random backoff lainnya sebelum mencoba mengakses kanal kembali. Tapi jika kanal dalam keadaan idle, maka perangkat dapat langsung mengirimkan paket data pada slot backoff berikutnya yang tersedia.



Gambar 4 Diagram Alir Protokol CSMA-CA [4]

Sedangkan mode unslotted CSMA-CA digunakan pada jaringan beaconless-enabled, terlihat pada setiap perangkat yang ingin mengirimkan data harus melihat keadaan kanal terlebih dahulu, jika kanal dalam keadaan sibuk, maka simpul harus menunggu nomor acak slot backoff, yaitu antara 0 dan 2^{BE-1} sebelum memutuskan untuk mengirimkan data. Standar minimum nilai BE (macMinBE) adalah 3.

Kemudian sebelum mengakses kanal, BE akan dinaikkan satu persatu dengan syarat jika nilai $BE \geq macMaxBE$ (nilai maksimum BE adalah 5) maka pengiriman akan gagal [5]. Namun jika ditemukan kanal dalam keadaan idle, maka simpul dapat langsung mengirimkan datanya. Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya tabrakan data.

4. Hasil dan Analisa

Analisa dari studi ini dilakukan dengan cara membandingkan beberapa parameter antara 3 perangkat komunikasi nirkabel, yaitu WLAN (802.11b), Bluetooth (802.15.1) dan WPAN (802.15.4) yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Perbandingan WLAN, Bluetooth dan IEEE 802.15.4

| Parameter | WLAN (802.11b) | Bluetooth (802.15.1) | WPAN (802.15.4) |
|-----------------|------------------------------|----------------------|------------------------------|
| Band frekuensi | 2.4– 2.486 GHz | 2.4 GHz | 868 MHz, 915 MHz dan 2.4 GHz |
| Data rate | 1–11 Mbps | 1–3 Mbps | 250 kbps |
| Jarak jangkau | 30–100 meter | 10 meter | 10–100 meter |
| Spread spectrum | DSSS | FHSS | DSSS dan FHSS |
| Aplikasi | Wireless internet connection | Wireless mouse | Wireless sensor network |

Dari Tabel 2, dapat dijelaskan perbedaan dari masing-masing protokol, yaitu:

- a. 802.11b (WLAN) yang merupakan bentuk komunikasi nirkabel berkecepatan tinggi dengan daya jangkau yang kecil beroperasi pada band frekuensi 2.4–2.486 GHz dengan mode operasi Infrastruktur dan Ad-hoc, dimana dalam mode infrastruktur, AP (access point) memegang peranan penting untuk melayani komunikasi utama dalam jaringan nirkabel. Sedangkan mode Ad-hoc (peer-to-peer) keberadaan AP tidak mempengaruhi komunikasi nirkabel karena perangkat dapat saling terkoneksi satu sama lain selama perangkat tersebut berada dalam lingkup radio yang sama. Spektrum penyebaran yang digunakan adalah DSSS yang merupakan penyebaran secara langsung dimana setiap data yang dikirim akan melewati setiap kanal secara berurutan tanpa melewati satu kanal pun. Fitur ketahanan yang terdapat dalam standar 802.11b adalah CRC checksum (cyclic redundancy check

checksum) dan fragmentasi paket, dimana pada fitur CRC *checksum*, setiap paket akan menghitung jumlah CRC *checksum* untuk memastikan bahwa data tidak mengalami kerusakan selama dalam perjalanan. Sedangkan dalam fitur fragmentasi paket, paket-paket data yang berukuran besar harus dibagi menjadi bagian-bagian kecil ketika akan dikirimkan karena paket yang besar akan lebih mudah rusak. Sistem keamanan yang digunakan adalah *Wired equivalent privacy* (WEP) yang menyediakan keamanan yang setara dengan teknologi kabel (Ethernet). Semua data yang dikirim dan diterima pada *node* dan AP akan dienkripsi dengan mengeluarkan beberapa paket untuk setiap *client*, kemudian *client* harus merespon dengan benar agar dapat mengotentikasi dan mendapatkan akses jaringan sendiri.

- b.802.15.1 (Bluetooth) adalah teknologi komunikasi nirkabel untuk jaringan pribadi yang diciptakan untuk memberikan fitur dengan biaya murah, konsumsi daya rendah dan pengoperasiannya yang mudah. Mode Operasi yang digunakan adalah mode *Paging* dan *Inquiry*, dimana dalam mode *paging* terdapat koneksi yang menghubungkan setiap perangkat, sedangkan mode *Inquiry* hanya diperlukan jika alamat tujuan tidak diketahui. Spektrum yang digunakan adalah FHSS (*frequency hopping spread spectrum*), dimana setiap lompatan yang bertemu dengan interferensi akan membuang paket data yang dikirimkan selama terjadi lompatan. Fitur ketahanan yang dimiliki oleh Bluetooth adalah enkripsi data, autentikasi pengguna, lompatan frekuensi dan kontrol pengeluaran energi. Sistem keamanan pada Bluetooth dengan cara membatasi komunikasi pada perangkat, dimana setiap perangkat harus memiliki PIN (*personal identification number*) yang akan diberikan alamat masing-masing 3 bit yang dimulai dari beberapa perangkat yang membentuk jaringan pico dan kemudian akan menetapkan satu perangkat sebagai *master* dan yang lainnya menjadi *slave*.
- c. 802.15.4 (WPAN) adalah sebuah komunikasi nirkabel tingkat tinggi yang diimplementasikan pada perangkat pribadi seperti jaringan sensor nirkabel (WSN) yang didesain untuk komunikasi berdaya rendah, berbiaya murah dengan jarak jangkauan yang

mencapai 100 meter. Mode operasi yang digunakan adalah *star* dan *mesh*. Spektrum yang digunakan adalah FHSS dan DSSS, karena sistem penyebarannya dilakukan dengan *pseudo-noise generator* (PNG) yang berfungsi untuk melebarkan dan mengacak-acak sinyal yang akan dikirim sehingga jika terjadi penyadapan hanya akan mendengar bunyi titik-titik yang tidak jelas. Fitur ketahanan pada protokol ini adalah mekanisme CSMA-CA yang berguna untuk mendeteksi keadaan sebuah kanal (*busy* atau *idle*) sebelum mengirim data, sehingga terjadinya tabrakan data yang akan mengganggu kinerja jaringan pada saat pengiriman paket data dapat dihindari. Sistem keamanan protokol ini berupa kunci simetris yang menggunakan tombol yang disediakan oleh sublapisan MAC. Kunci simetris ini memiliki kemampuan untuk memilih perangkat mana saja yang dapat berkomunikasi satu sama lain.

5. Kesimpulan

Dari hasil analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Protokol IEEE 802.15.4 adalah pengembangan dari Bluetooth yang mampu menangani jarak jangkauan yang hanya 10 meter.
2. Protokol IEEE 802.15.4 mampu terkoneksi dengan 65000 perangkat, sedangkan Bluetooth hanya mampu sampai dengan 8 perangkat.
3. Protokol IEEE 802.15.4 dapat beroperasi dengan daya rendah karena sebagian besar waktunya digunakan dalam mode tidur (*sleep*) dan akan aktif pada waktu-waktu tertentu.
4. Frekuensi 868 dan 915 MHz menggunakan sistem modulasi BPSK (*binary phase shift keying*) yang memposisikan 2 bit sejauh 180° , yaitu biner 0 berada pada fasa 180° dan biner 1 berada pada fasa 0° .
5. Frekuensi 2.4 GHz menggunakan sistem modulasi OQPSK (*offset quadrature phase shift keying*) yang mampu mengelompokkan 2 bit/symbol (00, 01, 11, 10) dan diposisikan dengan fasa sejauh 90° .
6. Mekanisme dasar dari CSMA-CA dalam menghindari tabrakan pada pengiriman data adalah dengan mengatur sebuah *timer* pada setiap perangkat yang mendapatkan kanal dalam keadaan *idle*.

Daftar Pustaka

- [1] Ravinkanth Kanna, *Design of Zigbee Transceiver for IEEE 802.15.4 Using Matlab/Simulink*. Odisha, India: National Institute of Technology Rourkela, 2011.
- [2] Faisal Abdel-Latif Elseddeek Ali Husien, *Ultra Low Power IEEE 802.15.4/ Zigbee Compliant Transceiver*. Texas: Texas A&M University, 2009.
- [3] LX-Group. (2010, July) Wireless Communication System Zigbee Based Modules. [Online]. <http://lx-group.blogspot.com/2010/07/Wireless-Communication-System-Zigbee.html>
- [4] IEEE, *Low-Rate Wireless Personal Area Network IEEE 802.15.4*. New York: 3 Park Avenue, 2011.
- [5] Xeudong Liang and Ilangko Balasingham, "Performance Analysis of the IEEE 802.15.4 Based ECG Monitoring Network," *Proceeding of the Seventh IASTED International Conference Wireless and Optical Communications*, 30 May - 2 June 2007.