

BAB II

DASAR TEORI

Bab ini memuat tinjauan teori yang berisi tentang teori umum *Wireless Personal Area Network* (WPAN), konsep *Medium Access Control* (MAC) Layer dan Performansi MAC layer pada WPAN. *Wireless Personal Area Network* (WPAN) merupakan jaringan nirkabel yang dapat menghubungkan satu perangkat dengan perangkat lain yang berdekatan dengan menggunakan *interface* seperti *bluetooth*, *Ultra Wide Band* (UWB) dan *zigbee*. WPAN ini mempunyai jangkauan yang tidak begitu luas (*short range*) namun mempunyai beberapa kelebihan. Standar IEEE 802.15.4 telah menspesifikasikan protokol MAC dan layer fisik untuk WPAN yang menawarkan jaringan yang sangat efisien untuk keperluan dunia teknologi. Secara lengkap konsep dan tinjauan teori dijelaskan dalam sub bab di bawah ini.

2.1 *Wireless Personal Area Network* (WPAN)

Saat ini kebutuhan untuk mengakses layanan telekomunikasi melalui media nirkabel mengalami peningkatan yang signifikan sehingga teknologi jaringannya pun berkembang dengan cepat. Beberapa kelebihan jaringan nirkabel adalah dalam hal fleksibilitas dan mobilitas sehingga pengembangan jaringan menjadi lebih mudah dan murah dibandingkan dengan jaringan kabel (*fixed network*). Secara umum, perkembangan jaringan nirkabel mengikuti *trend* peningkatan layanan data melalui internet, email, maupun transfer *file*. Salah satu contoh aplikasi dari jaringan nirkabel adalah sensor. Pengenalan sensor mampu menciptakan jaringan *ad hoc* berbasis sensor yang terdiri atas beberapa peralatan yang memiliki keunggulan komparatif, yaitu lebih murah, lebih efisien, bentuk yang kompak, dan dapat diproduksi secara massal.

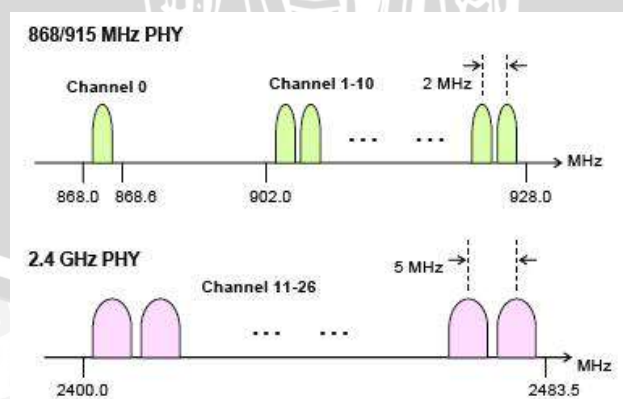
Dengan dirilisnya Standar IEEE 802.15.4 yang menspesifikasikan protokol MAC dan layer fisik untuk LR-WPAN (*Low Rate-Wireless Personal Access Network*), maka telah memungkinkan adanya pengembangan WSN (*Wireless Sensor Network*) atau Jaringan Sensor Nirkabel (JSN). Standar baru

ini secara unik dirancang untuk membangun jaringan WPAN dengan karakteristik laju data rendah (*low rate*), konsumsi daya rendah (*low power*), dan biaya rendah (*low cost*). Standar ini menawarkan jaringan yang sederhana, efisien daya, dan tidak mahal untuk mendukung aplikasi yang luas mulai dari pengendalian dalam industri, *monitoring* lingkungan, pengendalian peralatan rumah tangga, keamanan, kesehatan, hingga untuk keperluan militer (Gutierrez, *et al.*, 2006) (Misic, *et al.*, 2008).

2.1.1 Standar IEEE 802.15.4

Standar IEEE 802.15.4 mendefinisikan protokol *layer* fisik dan MAC yang mendukung perangkat sensor yang relatif sederhana dengan konsumsi daya yang kecil dan beroperasi pada area pelayanan POS (*Personal Operating Service*) yang mempunyai radius lebih kecil dari 10 meter. Memperluas jangkauan dapat saja dilakukan namun akan meningkatkan konsumsi daya.

Link nirkabel pada standar 802.15.4 dapat beroperasi pada 3 pita frekuensi ISM (*Industrial Scientific Medical*) sebagaimana terlihat pada Gambar 2.1, yaitu pita frekuensi 2450 MHz dengan laju data 250 kbps, pita frekuensi 915 MHz dengan laju 40 kbps, dan pada pita frekuensi 868 dengan laju data 20 kbps. Untuk ketiga pita frekuensi tersebut, berturut-turut kapasitas masing-masing adalah 16, 10 dan 1 kanal (Callaway, *et al.*, 2002) (Misic, *et al.*, 2008).



Gambar 2.1 Struktur kanal pada standar IEEE 802.15.4

Sumber : Callaway, *et al.*, 2002: 74

Pada Tabel 2.1 dapat dilihat perbandingan parameter modulasi antara pita frekuensi dari *Wireless Personal Area Network* (WPAN).

Tabel 2.1 Perbandingan Pita Frekuensi WPAN

<i>Frequency Band</i>	<i>Symbol Rate</i> (baud/s)	<i>Modulation</i>	<i>Bit rate</i> (kbps)
868.0-868.6 MHz	20000	BPSK	20
902.0-928.0 MHz	40000	BPSK	40
2.4-2.4835 GHz	62500	16-ary orth	250

Sumber : Callaway, *et al.*, 2002: 75

2.1.2 Komponen IEEE 802.15.4

Pada standar 802.15.4 terdapat dua kategori perangkat, yaitu *Full Function Device* (FFD) dan *Reduced Function Device* (RFD). Perangkat FFD dapat berkomunikasi dengan RFD dan FFD lainnya serta dapat beroperasi dalam 3 mode, baik sebagai koordinator PAN (*Personal Area Network*), koordinator, maupun sebagai perangkat. RFD adalah perangkat sederhana (*switch* atau *sensor*) yang dikendalikan oleh perangkat FFD. Pada jaringan JSN-AD, semua perangkat adalah FFD sehingga dapat bertindak sebagai *router* yang memungkinkan komunikasi *peer-to-peer*.

Sebuah perangkat pada jaringan dengan protokol 802.15.4 dapat menggunakan alamat baik 64-bit maupun 16-bit yang ditentukan pada saat menjalani prosedur asosiasi dimana sebuah jaringan 802.15.4 dapat mengakomodasi sampai sebanyak 216 perangkat. Alamat 64-bit tersedia secara *default* pada seluruh perangkat dan umumnya dikenal sebagai alamat fisik (MAC). Sedangkan alamat 16-bit akan dialokasikan oleh koordinator PAN pada perangkat yang terhubung dengannya.

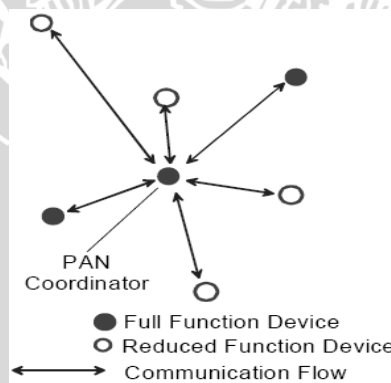
2.1.3 Topologi Jaringan IEEE 802.15.4

Standar IEEE 802.15.4 dapat mengakomodir dua jenis topologi jaringan, yaitu (IEEE 802.15.4 Standard, 2006):

1. *Topologi Star*
2. *Topologi Peer to Peer*

1. *Topologi Star*

Setelah FFD diaktifkan untuk pertama kali, maka FFD akan membangun jaringannya sendiri dan menjadi koordinator PAN. Seluruh jaringan *topologi star* bekerja secara bebas satu sama lain. Hal ini diperoleh dengan memilih *PAN Identifier*, yang tidak sedang digunakan oleh jaringan yang lain dalam pengaruh jangkauan radio. Ketika *PAN Identifier* terpilih, koordinator PAN dapat mengizinkan seluruh komponen yang lain dalam jaringan untuk bergabung. Kedua FFD dan RFD dapat bergabung dalam jaringan. Gambar 2.2 merupakan contoh dari jaringan *topologi star*.

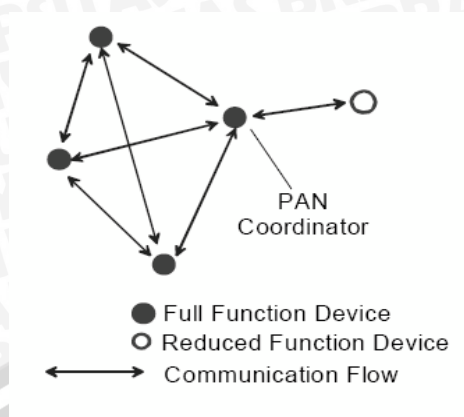


Gambar 2.2 Jaringan Topologi Star

Sumber : IEEE 802.15.4 Standard, 2006: 14

2. *Topologi Peer To Peer*

Semua komponen dapat berkomunikasi dengan komponen yang lain dalam satu pengaruh jangkauan radio. Satu komponen dapat bertindak sebagai koordinator PAN yang secara langsung dapat dengan menjadi komponen yang pertama yang memakai kanal.

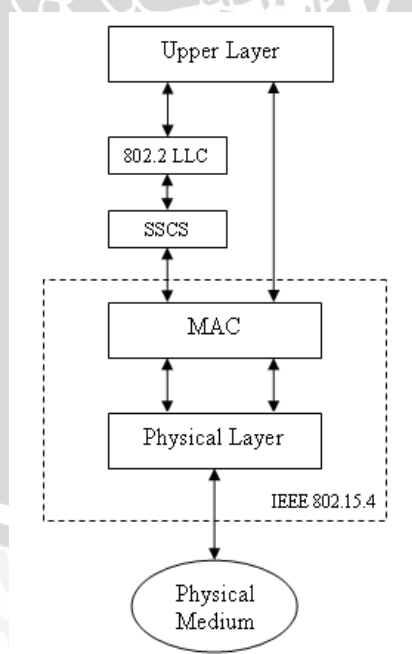


Gambar 2.3 Jaringan *Topologi Peer-to-Peer*

Sumber : IEEE 802.15.4 Standard, 2006: 14

2.1.4 Arsitektur Protokol

Arsitektur WPAN seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.4 merupakan sejumlah blok untuk menyederhanakan standar yang dipakai dimana arsitekturnya berdasarkan pada model OSI (*Open System Interconnection*). Setiap blok dinamakan dengan layer yang masing-masing mempunyai fungsi untuk melayani layer di atasnya.



Gambar 2.4 Arsitektur Protokol WPAN

Sumber : IEEE 802.15.4 Standard, 2006: 16

Perangkat WPAN terdiri dari layer fisik (*Physical Layer / PHY*) yang mengatur *transceiver* frekuensi radio dan mekanisme kontrol tingkat rendah, serta *MAC layer* yang menyediakan akses ke kanal fisik untuk setiap jenis transfer. *Upper layer* atau *layer* yang berada di atas *layer MAC* terdiri dari *layer network* dan *layer aplikasi*. *Logical Link Control (LLC)* dapat mengakses *layer MAC* melalui *Service Specific Convergence Sublayer (SSCS)* (Standard IEEE 802.15.4, 2006).

1. *Layer Fisik (Physical Layer)*

Layer Fisik merupakan komponen yang sangat penting dalam komunikasi komputer yang biasanya digunakan pada transmisi, penerimaan data, penginderaan kanal (*channel sensing*), penentuan kualitas *link*, dan *setting state* dari *node*. *Layer* ini berinteraksi langsung dengan kanal nirkabel dan bertugas menyuplai informasi dari dan ke *layer* di atasnya.

Sebelum sebuah *node* menggunakan kanal untuk melakukan komunikasi, maka perlu diketahui bahwa kanal tersebut dalam kondisi kosong atau dalam kondisi terpakai. Secara khusus, protokol fisik perlu melakukan *scanning* untuk *Energy Detection (ED)* dan *Clear Channel Assessment (CCA)* pada kanal untuk mendeteksi aktivitas yang sedang berlangsung dan selanjutnya melaporkannya ke *layer MAC*. Sebuah kanal dianggap sibuk jika level aktivitas yang dideteksi melampaui nilai *threshold* tertentu. Pengujian kanal yang lainnya adalah *Link Quality Indication (LQI)*. *RF Transceiver* dapat beroperasi pada salah satu dari 3 pita frekuensi bebas lisensi, yaitu (Callaway,et al.,2002) (IEEE 802.15.4 Standard,2006) :

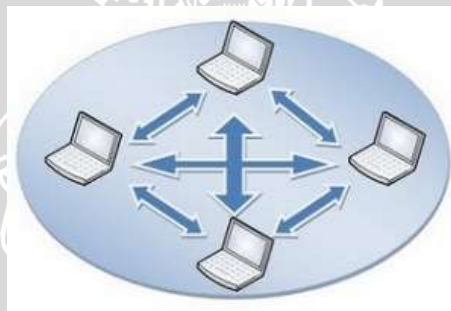
1. 868-868.6 MHz (Eropa)
2. 902-928 MHz (Amerika Utara)
3. 2400-2483,5 MHz (Seluruh Dunia)

2. *Layer MAC*

Sub-layer MAC menyediakan *interface* antara *layer fisik (PHY)* dengan *layer* di atasnya. Fungsi yang dilakukan meliputi akses kanal, manajemen *link*, validasi *frame*, keamanan, dan sinkronisasi *node*.

2.1.5 Jaringan Sensor Nirkabel Adhoc

Sebagaimana ditegaskan sebelumnya bahwa standar IEEE 802.15.4 mendukung jaringan *star* sederhana dan jaringan *multi-hop peer-to-peer*. Dalam kedua topologi jaringan tersebut, sebuah koordinator PAN mutlak diperlukan. Koordinator PAN umumnya memiliki 2 fungsi yaitu bertanggung jawab dalam menangani beberapa *node* yang terhubung atau tak-terhubung dengannya dan mengalokasikan alamat pada jaringan *beaconless-enabled*. Fungsi kedua dapat dilakukan oleh masing-masing perangkat yang memiliki alamat 64-bit secara *default*. Sedangkan *node* FFD dapat menangani fungsi pertama dari koordinator PAN tersebut di atas. Oleh sebab itu, jaringan JSN-AD diasumsikan memiliki perangkat FFD atau *router-enabled devices* (Misic, et al., 2008) (Prasad, et al., 2005).



Gambar 2.5 Jaringan Sensor Nirkabel Adhoc

Sumber : Perancangan

Pada jaringan JSN-AD, setiap *node* dapat mendeteksi *default* kanal dari seluruh *node* untuk mencari *node* tetangganya. Ketika proses identifikasi *node* tetangganya berhasil, maka komunikasi *peer-to-peer* dapat berlangsung. Oleh sebab itu semua *node* selalu aktif selama terlibat dalam jaringan. Apabila sebuah *node* telah menerima paket, maka *node* tersebut akan mengirimkan paket ACK. Contoh jaringan JSN-AD diperlihatkan pada Gambar 2.5, dengan semua *node* adalah perangkat FFD homogen.

2.2 MAC Layer

Medium Access Control (MAC) merupakan layer yang mengatur dan menjaga komunikasi antar *station*. Layer ini juga berfungsi sebagai

pengatur akses protokol ke media fisik jaringan dan mengkoordinasi akses dalam menggunakan kanal radio untuk mempermudah komunikasi melalui media *wireless*. *Sub-layer* MAC menyediakan *interface* antara layer fisik (PHY) dengan *layer* di atasnya. Fungsi yang dilakukan antara lain akses kanal, manajemen *link*, validasi *frame*, keamanan, dan sinkronisasi *node*.

Layer MAC di WPAN pada umumnya menggunakan protokol CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*). CSMA/CA merupakan protokol terdistribusi sederhana dimana *node-node* mengatur transmisi paket berdasarkan pada persepsi keadaan, sibuk atau *idle* dari kanal radio. Beberapa tugas dari *Layer* MAC antara lain:

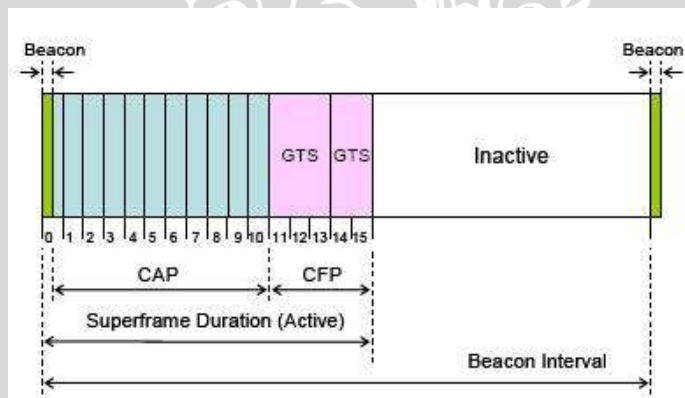
1. Membangkitkan *beacon* jaringan jika perangkat adalah koordinator. Sebuah koordinator bekerja dalam mode *beacon-enabled*, di mana struktur *super-frame* digunakan. Sebuah koordinator mengirimkan *beacon* secara periodik untuk mensinkronkan perangkat yang terkait dan untuk tujuan lain.
2. Sinkronisasi dengan *beacon*. Sebuah perangkat yang terhubung dengan koordinator dapat melacak *beacon* untuk sinkronisasi dengan koordinator. Proses sinkronisasi diperlukan untuk *data polling*, penghematan energi, dan deteksi *orphaning*.
3. Mendukung proses asosiasi dan disosiasi dalam jaringan PAN. Fungsi ini memungkinkan terbentuknya konfigurasi jaringan *star* dan *peer-to-peer* secara otomatis.
4. Menerapkan mekanisme CSMA/CA untuk akses kanal. Seperti kebanyakan protokol jaringan nirkabel lainnya, protokol 802.15.4 menggunakan mekanisme CSMA/CA.
5. Menangani dan memelihara mekanisme GTS (*Guaranteed Time Slot*). Saat dalam mode *beacon-enabled*, sebuah koordinator akan mengalokasikan sejumlah *superframe* aktif ke perangkat. Porsi ini dikenal dengan GTS yang merupakan bagian dari CFP (*Contention Free Period*) dari suatu *superframe*.
6. Menyediakan *link* handal antara dua *peer* entitas MAC. *Sub-layer* MAC menerapkan berbagai mekanisme untuk memperluas reliabilitas *link* di antara dua *peer*, antara lain dengan *frame acknowledgment*, retransmisi, dan

verifikasi data dengan menggunakan 16-bit CRC yang termasuk dalam mekanisme CSMA/CA.

2.2.1 Struktur *Beacon* dan *Superframe*

Standar 802.15.4 memperkenalkan penggunaan struktur *superframe* secara opsional. *Superframe* dibatasi oleh *beacon* yang dikirimkan oleh koordinator. Dari Gambar 2.6 dapat dilihat bahwa *superframe* dapat dibagi atas bagian aktif dan bagian tidak aktif yang bersifat opsional. Periode aktif dari sebuah *superframe* terdiri atas 3 bagian yaitu sebuah *beacon*, periode CAP (*Contention Access Period*), dan periode CFP (*Contention Free Period*).

Sebuah *beacon* dapat ditransmisikan tanpa menggunakan mekanisme CSMA/CA pada awal slot 0 yang kemudian diikuti oleh periode CAP. Sebuah perangkat yang ingin berkomunikasi pada periode CAP di antara dua *beacon* harus MAC dengan perangkat lainnya menggunakan mekanisme *slotted* CSMA/CA. Selanjutnya periode CFP secara opsional muncul setelah periode CAP hingga akhir periode aktif. Periode CFP dapat mengakomodasi hingga 7 GTS (*Guaranteed Time Slot*), dan sebuah GTS dapat menduduki lebih dari satu slot (IEEE 802.15.4 Standard, 2006).



Gambar 2.6 Struktur *Superframe* IEEE 802.15.4

Sumber : Severino, 2008: 20

Struktur *superframe* dapat dijelaskan dengan BO (*Beacon Order*) dan SO (*Superframe Order*). Panjang dari *superframe* disebut juga BI (*Beacon Interval*) dan panjang bagian aktif yang disebut SD (*Superframe Duration*).

2.2.2 Model Transfer Data

Mekanisme untuk transfer data tergantung pada kondisi apakah jaringan mendukung transmisi *beacon* atau tidak. Sebuah jaringan yang mendukung transmisi *beacon* (*beacon-enabled network*) biasanya digunakan untuk mendukung perangkat *low-latency*, seperti peralatan PC. Sedangkan jaringan yang tidak mendukung perangkat seperti itu dapat saja memilih untuk tidak menggunakan *beacon* dalam transmisi normal.

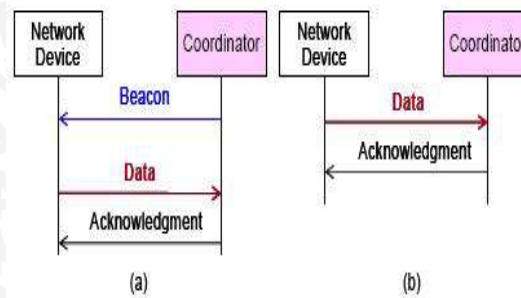
Mekanisme transfer data dapat terbagi dalam 3 cara, yaitu:

1. Transmisi Data Langsung
2. Transmisi Data Tak Langsung
3. *Guaranteed Time Slot* (GTS)

1. Transmisi Data Langsung

Jenis ini adalah mekanisme transfer data dari perangkat ke koordinator. Pada jaringan *beacon-enabled*, pada saat sebuah perangkat ingin mengirim data ke koordinator, maka ia harus mendengarkan sebuah *beacon* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.7(a). Ketika *beacon* diperoleh, maka perangkat akan melakukan sinkronisasi struktur *superframe*-nya, selanjutnya mengirim *frame* data menggunakan *slotted CSMA/CA* ke koordinator. Selanjutnya koordinator mengkonfirmasi penerimaan data yang berhasil dengan mengirim *frame ACK (acknowledgment)*.

Sementara untuk jaringan *beaconless-enabled*, ketika perangkat ingin mengirim data, perangkat tersebut dapat melakukannya langsung ke koordinator dengan mekanisme *unslotted CSMA/CA*. Selanjutnya koordinator akan mengirim ACK jika berhasil menerima data tersebut, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7(b).



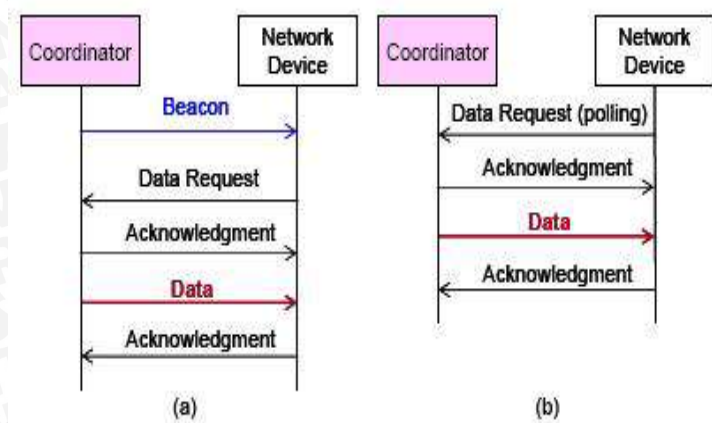
Gambar 2.7 Transmisi data langsung pada jaringan
(a) *beacon-enabled*, (b) *beaconless-enabled*.

Sumber: IEEE 802.15.4 Standard, 2006: 19

2. Transmisi Data Tak Langsung

Mekanisme ini adalah transfer data dari koordinator ke perangkat. Pada jaringan *beacon-enabled*, ketika koordinator ingin mengirim data ke perangkat, perangkat tersebut akan mengindikasikan pada *beacon* jaringan terdapat data yang tertunda. Perangkat secara periodik mendengarkan *beacon* jaringan dan jika ada data yang tertunda maka perangkat akan mengirim perintah MAC untuk permintaan data menggunakan *slotted CSMA/CA*. Kemudian koordinator akan mengirimkan ACK atas keberhasilan menerima permintaan data, lalu mengirimkan data yang tertunda menggunakan *slotted CSMA/CA*. Perangkat yang telah menerima akan mengirim ACK. Pada saat menerima ACK, maka data yang tertunda akan dibuang dari *list* data tertunda pada *beacon*. Urutan langkah tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.8(a).

Sementara untuk jaringan *beaconless-enabled*, ketika koordinator ingin mengirim data ke perangkat, maka ia akan menyimpan data untuk masing-masing perangkat yang sesuai. Suatu perangkat dapat membentuk hubungan dengan mengirimkan permintaan data menggunakan *unslotted CSMA/CA* dengan laju *polling* ke koordinator. Lalu ACK dikirim oleh koordinator, kemudian mengirimkan data yang tertunda. Namun jika tidak ada data yang tertunda, maka koordinator akan mengirim *frame* data dengan panjang *payload* nol untuk menunjukkan tidak ada data yang tertunda. Selanjutnya perangkat akan mengirim ACK atas penerimaan data tersebut (IEEE 802.15.4 Standard, 2006).



Gambar 2.8 Transmisi data tak langsung pada jaringan
(a) *beacon-enabled*, (b) *beaconless-enabled*.

Sumber: IEEE 802.15.4 Standard, 2006: 20

3. *Guaranteed Time Slot (GTS)*

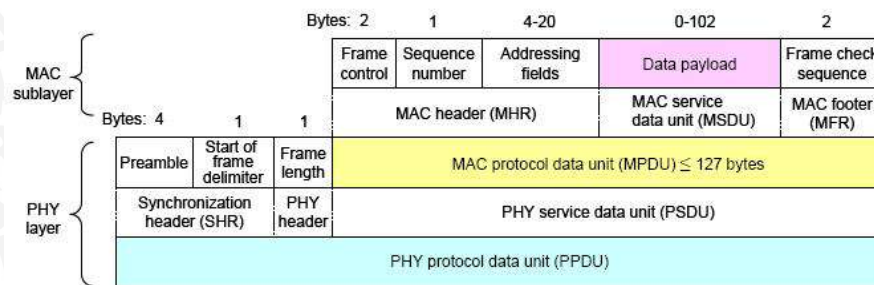
Cara ini digunakan untuk mentransfer data dari koordinator ke perangkat maupun sebaliknya tanpa memerlukan mekanisme CSMA/CA karena kanal tersedia (*guaranteed*) selama periode GTS.

2.2.3 Format Frame Data

Standar 802.15.4 mendefinisikan empat tipe frame yang termasuk di dalamnya *beacon*, perintah (*command*), ACK, dan *frame data*. Format *frame data* 802.15.4 ditunjukkan pada Gambar 2.9. *Frame MAC*, misalnya *MAC Protocol Data Unit (MPDU)*, terdiri atas *MAC header (MHR)*, *MAC Service Data Unit (MSDU)*, dan *MAC Footer (MFR)*. *Field* pertama dari *MAC header* adalah *frame control field*. Dia mengindikasikan jenis *frame MAC* yang sedang ditransmisikan, menspesifikasikan format *field* alamat, dan mengontrol ACK. Secara ringkas, *frame control field* menspesifikasikan sisa *frame* dan isinya.

Suatu *frame data* dapat mengandung informasi sumber dan tujuan dengan ukuran alamat antara 4 dan 20 Byte. Panjang *field* dari *payload* bersifat variabel. Namun, maksimum *payload* data MAC yang merupakan ukuran maksimum dari MSDU (*aMaxMACFrameSize*) bernilai sama dengan *aMaxPHYPacketSize* (127 Bytes) – *aMaxFrameOverhead* (25 Bytes) = 102

Bytes (Callaway, *et al.*, 2002) (Severino, 2008).



Gambar 2.9 Format *frame* data pada IEEE 802.15.4

Sumber: IEEE 802.15.4 Standard, 2006: 22

MPDU akan dilewatkan ke *layer* fisik sebagai *payload* data PHY atau PSDU (*PHY Service Data Unit*). PSDU memiliki prefiks SHR (*Synchronization Header*) dan PHR (*PHY Header*) yang secara bersamaan membentuk paket data PHY yang dikenal dengan PPDU (*PHY Protocol Data Unit*).

2.2.4 Mekanisme CSMA/CA

CSMA merupakan protokol terdistribusi sederhana dimana setiap *node* mengatur usaha transmisi paket berdasarkan pada persepsi keadaan, sibuk atau *idle*, dari kanal radio. Suatu *station* melakukan transmisi jika mendapatkan kanal dalam keadaan *idle* (tidak ada *carrier*) dan menunda transmisi jika mendapatkan kanal dalam keadaan sibuk (*carrier* terdeteksi). Tabrakan paket terjadi pada CSMA karena setiap *node* hanya memiliki persepsi yang tertunda dari aktivitas *node-node* lainnya. Tabrakan paket mengakibatkan pemborosan *bandwidth* kanal dan penurunan *throughput* jaringan. Pada jaringan kabel, *node-node* dapat mendeteksi adanya transmisi data sehingga mampu menghindari pemborosan *bandwidth* kanal. *Node-node* akan merencanakan transmisi ulang dari paket-paket pada waktu yang akan datang secara acak, dengan tujuan untuk menghindari tabrakan lainnya. Skema ini adalah *CSMA with Collision Detection* (CSMA/CD) dan menjadi protokol MAC yang populer untuk *wired LAN*.

Radio unit yang beroperasi pada frekuensi pembawa tunggal tidak dapat melakukan transmisi dan mendengarkan kanal secara bersamaan. Walaupun bisa dilakukan tetapi deteksi tabrakan tidak dapat dikerjakan dengan mudah selama tabrakan terjadi pada penerima. Hal ini disebabkan oleh pengirim pada saat tabrakan terdeteksi yang mengakibatkan sinyal interferensi secara signifikan seringkali lebih lemah daripada sinyal transmisi. Hambatan tersebut menghalangi kegunaan protokol deteksi tabrakan (*Collision Detection*) dalam lingkungan *wireless*. Akibatnya, banyak protokol MAC menggunakan prosedur *collision avoidance* (CSMA/CA).

Algoritma CSMA/CA harus digunakan sebelum transmisi data atau transmisi *frame* perintah MAC pada periode CAP. Standar 802.15.4 menggunakan dua tipe mekanisme akses kanal tergantung pada konfigurasi jaringan, yaitu (Standard IEEE 802.15.4, 2006, Gary, 2004):

1. *Unslotted CSMA/CA*
2. *Slotted CSMA/CA*

1. **Unslotted CSMA/CA**

Mekanisme ini digunakan pada jaringan *beaconless-enabled*. Pada saat perangkat ingin mengirim *frame* data atau perintah MAC, perangkat tersebut akan menunggu selama periode *random*. Apabila ditemukan kondisi kanal kosong (*idle*) mengikuti *backoff random*, maka perangkat dapat mengirim data. Jika kanal dalam keadaan sibuk mengikuti *backoff random*, perangkat harus menunggu selama periode *random* yang lain.

2. **Slotted CSMA/CA**

Mekanisme ini digunakan pada jaringan *beacon-enabled*, dengan slot *backoff* diselaraskan dengan awal pengiriman *beacon*. Saat perangkat ingin mengirim *frame* data pada periode CAP, perangkat tersebut harus menentukan batas slot *backoff* berikutnya dan menunggu selama sejumlah slot *backoff random*. Apabila kanal dalam keadaan sibuk mengikuti *backoff random*, maka perangkat harus menunggu sejumlah slot *backoff random* yang lain sebelum mencoba mengakses kanal kembali. Namun jika kanal kosong, maka perangkat dapat mengirim pada slot *backoff* berikutnya yang tersedia.

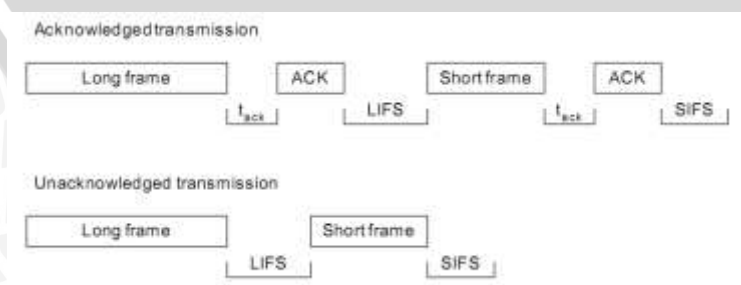
Pada kedua kasus di atas, algoritmanya menggunakan unit waktu yang disebut periode *backoff*. Satu periode *backoff* bernilai konstan, misalnya *aUnitBackoffPeriod* (20 simbol). Algoritma CSMA/CA mencoba nilai *backoff* maksimum sebelum menyatakan akses kanal gagal, dan *macMaxCSMABackoffs* dapat divariasi antara 0 dan 5 (dengan *default* 4). Perlu diingat bahwa algoritma CSMA/CA tidak digunakan untuk transmisi *frame beacon*, *frame ACK*, dan *frame data* pada periode CFP (Grag,2007,Severino,2008).

3.2.5 Inter Frame Space (IFS)

Inter Frames Spaces (IFS) merupakan periode komunikasi pada saat *idle* yang diperlukan untuk mendukung *layer* MAC dalam memproses data yang diterima oleh *layer* fisik. Untuk mendapatkan kondisi ini, semua *frame* yang terkirim harus diikuti oleh sebuah periode IFS. Jika transmisi memerlukan *acknowledgment*, IFS akan mengikuti *frame acknowledgment* tersebut. Panjang dari periode IFS bergantung pada ukuran *frame* yang ditransmisikan, sehingga pada standar IEEE 802.15.4. IFS dibagi menjadi 2 jenis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.10, yaitu :

1. *Long Inter Frames Spaces* (LIFS)
2. *Short Inter Frames Spaces* (SIFS)

Pemakaian nilai IFS berdasarkan parameter dari IEEE 802.15.4 yaitu *aMaxSIFSFrameSize*. *AMaxSIFSFrameSize* mendefinisikan ukuran *frame* maksimum yang dapat diterima. Algoritma CSMA/CA memasukkan nilai IFS ke dalam perhitungan untuk transmisi pada CAP (*Contention Acces Period*) (Severino 2008).



Gambar 2.10 *Inter Frames Spaces (IFS)*

Sumber: IEEE 802.15.4 Standard, 2006: 170

2.3 Performansi *Delay*, *Throughput* dan *Bandwidth Efficiency* MAC Layer pada WPAN

Untuk menganalisis *delay*, *throughput* dan *bandwidth efficiency* layer MAC pada jaringan WPAN, harus terlebih dahulu diketahui apa saja parameter yang akan dihitung.

2.3.1 *Delay*

Delay didefinisikan sebagai waktu tunda pada proses transmisi data dari satu titik ke titik lain yang menjadi tujuannya. *Delay* pada layer MAC dapat dihitung seperti pada persamaan (2-1) (Latre,et al.,2006).

$$delay(x) = T_{BO} + T_{frame}(x) + T_{TA} + T_{ACK} + T_{IFS}(x) \quad (2-1)$$

Keterangan :

x	= <i>payload</i> (Byte)
$delay(x)$	= waktu tunda
T_{BO}	= periode <i>backoff</i>
$T_{frame}(x)$	= waktu transmisi untuk <i>payload</i> sebesar x Byte
T_{TA}	= waktu <i>turn around</i>
T_{ACK}	= waktu transmisi <i>Acknowledgment</i>
T_{IFS}	= waktu IFS

Untuk waktu IFS, ada dua (2) jenis yaitu T_{SIF} dan T_{LIFS} . T_{SIFS} digunakan saat MAC *Protocol Data Unit* (MPDU) lebih kecil atau sama dengan 18 Byte. MPDU diperoleh dari Persamaan (2-2) (Latre,et al.,2006).

$$MPDU = L_{MAC_HDR} + L_{MAC_FTR} + payload \quad (2-2)$$

Jika MPDU lebih kecil atau sama dengan 18 Byte, dipakai Persamaan (2-3) (Latre,et al.,2006).

$$T_{SIFS} = 12 \cdot T_s \quad (2-3)$$

Jika MPDU lebih besar dari 18 Byte, dipakai Persamaan (2-4) (Latre,et al.,2006).

$$T_{LIFS} = 40 \cdot T_s \quad (2-4)$$

Untuk periode *back off* (T_{BO}) diperoleh dari Persamaan (2-5) (Latre,et al.,2006).

$$T_{BO} = BO_{slots} \cdot T_{BOslots} \quad (2-5)$$

Keterangan :

$$BO_{slots} = \text{back off slots (3,5)}$$

$$T_{BOslots} = 20 \cdot T_s$$

$$T_s = \frac{1}{\text{SymbolRate}}$$

Untuk waktu transmisi $T_{frame}(x)$ dapat diperoleh dari Persamaan (2-6) (Latre,2006).

$$T_{frame}(x) = 8 \times \left(\frac{L_{PHY} + L_{MAC_HDR} + L_{address} + x + L_{MAC_FTR}}{R_{data}} \right) \quad (2-6)$$

Keterangan:

L_{PHY} = panjang PHY header (Byte)

L_{MAC_HDR} = panjang MAC header (Byte)

$L_{address}$ = panjang address bits

L_{MAC_FTR} = panjang MAC footer (Byte)

R_{data} = raw data rate

Untuk waktu *acknowledgements* diperoleh dari Persamaan (2-7) (Latre,et al.,2006).

$$T_{ACK} = 8 \times \left(\frac{L_{PHY} + L_{MAC_HDR} + L_{MAC_FTR}}{R_{data}} \right) \quad (2-7)$$

Keterangan :

L_{PHY} = panjang PHY header (Byte)

L_{MAC_HDR} = panjang MAC header(Byte)

L_{MAC_FTR} = panjang MAC footer (Byte)

R_{data} = raw data rate

2.3.2 Throughput

Throughput didefinisikan sebagai jumlah paket yang diterima di sisi penerima dengan benar tiap satuan waktu. Besarnya nilai *throughput* pada layer MAC dapat ditentukan dengan persamaan (2-8) (Latre,et al.,2006)

$$TP = \frac{8 \times x}{delay(x)} \quad (2-8)$$

Keterangan:

TP = throughput

x = Byte dari upper layer

$delay(x)$ = waktu tunda

2.3.3 Bandwidth Efficiency

Bandwidth efficiency merupakan perbandingan nilai *throughput* dan *data rate* pada frekuensi yang dipakai pada suatu jaringan. Dari persamaan – persamaan diatas maka dapat diperoleh nilai *bandwidth efficiency* pada Persamaan (2-9) (Latre,et al.,2006).

$$\eta = \frac{TP}{R_{data}} \times 100 \% \quad (2-9)$$

Keterangan :

η = bandwidth efficiency

TP = throughput

R_{data} = raw data rate

