

# SIMULASI DAMPAK PARAMETER PROTOKOL MAC TERHADAP UNJUK KERJA DAN KONSUMSI ENERGI JARINGAN SENSOR NIRKABEL

S. I. Pella

*Jurusan Teknik Elektro, Universitas Nusa Cendana  
Adi Sucipto, Kupang, 85000, Indonesia  
s.i.pella@staf.undana.ac.id*

## ABSTRACT

In wireless sensor networks (WSNs), the nodes' energy is a limited resource. In general, the main issue in designing the medium access control (MAC) protocols for WSNs is energy conservation in the network since MAC regulates the communication module which is the highest power consumption module in a node. This study aims to investigate the effect of MAC parameters such as the duty cycle, beacon fraction and transmission power on network performance (packet delivery rate-PDR) and energy consumption in the network.

Keywords: Duty cycle, beacon fraction, WSNs, Network Performance

## ABSTRAK

Pada jaringan sensor nirkabel (*Wireless Sensor Networks* -WSNs), energi pada setiap node adalah sumber daya yang terbatas. Pada umumnya protokol *medium access control* (MAC) untuk WSNs didesain untuk konservasi energy jaringan karena MAC mengatur modul komunikasi yang merupakan modul dengan konsumsi daya tertinggi dalam sebuah node. Penelitian ini bertujuan menginvestigasi pengaruh parameter-parameter MAC seperti *duty cycle*, *beacon fraction* dan daya transmisi terhadap unjuk kerja jaringan (*paket delivery rate*-PDR) dan konsumsi energy dalam jaringan.

**Kata Kunci:** *Duty cycle*, *beacon fraction*, *WSNs*, Unjuk Kerja Jaringan

## 1. PENDAHULUAN

Protokol *medium access control* (MAC) pada jaringan sensor nirkabel (*wireless sensor networks*- WSNs), umumnya didesain untuk pengoptimalan penggunaan energi dalam jaringan. Pendekatan utama yang dilakukan adalah menonaktifkan modul komunikasi yang merupakan modul pengguna energi terbesar dalam sebuah *node* secara periodic. Mekanisme seperti ini disebut mekanisme *duty cycle* dan persentase waktu node-node dalam WSNs beroperasi dengan modul komunikasi dalam keadaan aktif pada saat tidak ada data yang dikirimkan disebut *duty cycle*.

Pada saat ini terdapat beragam protokol MAC untuk pengoptimalan penggunaan energy dalam WSN. Secara umum protocol-protokol ini dapat

dikelompokkan dalam kategori protokol *synchronised duty cycle* dan protokol *asynchronised duty cycle*.

Protokol-protokol yang tergolong sebagai kategori protokol *synchronised duty cycle*, seperti sensor-MAC (S-MAC)[1, 2], T-MAC [3], DSMAC [4], SMAC-L [5], S-MAC modification [6], berusaha mensinkronisasikan periode aktif node-node yang beroperasi dalam daerah transmisi yang sama. Tujuan utamanya memastikan penerima dalam keadaan aktif ketika pengirim mengirimkan RTS untuk paket yang hendak dikirimnya. Protokol – protokol pada kategori ini biasanya mempunyai *duty cycle* sekitar 0.1-0.2 atau dalam kata lain ketika node dalam keadaan idle, node akan pengaktifkan modul komunikasinya antara 10-20% dari waktu operasi jaringan secara berkala. *Duty cycle* yang relative cukup besar ini untuk memastikan node-node ini mempunyai cukup waktu

untuk mensinkronisasikan duty cycle mereka dan mendengar RTS yang mungkin dikirimkan oleh node-node lain dalam wilayah transmisi mereka sebelum memastikan untuk menonaktifkan modul komunikasinya.

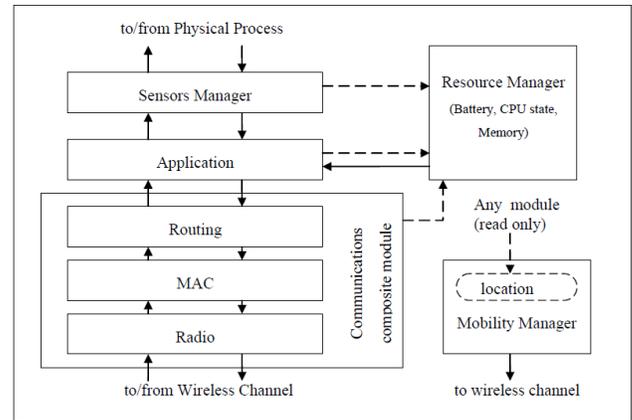
Protokol-protokol yang tergolong dalam kategori protokol asynchronous duty cycle seperti B-MAC[7], Wise MAC[8], SCP[9], X-MAC [10], RI-MAC[11], pada umumnya beroperasi dengan duty cycle yang sangat rendah antara 0.01-0.05. Node-node pada kategori protokol ini sebagian besar waktunya (95%-99%) beroperasi dengan modul komunikasi dinonaktifkan. Secara berkala setiap node mengaktifkan modul komunikasinya dan melakukan *polling* jaringan untuk mengecek apakah ada trafik untuk dirinya. Pada sisi pengirim, sebelum mengirimkan paket, node mengirmkan *preamble* atau *beacon* yang panjangnya melebihi periode polling node-node di jaringan, untuk memastikan penerima mengetahui dan siap untuk menerima data yang dikirimkan.

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi dampak penggunaan nilai parameter MAC (*duty cycle*, *beacon interval* dan daya transmisi) yang berbeda pada unjuk kerja dan konsumsi daya pada WSNs. Struktur penulisan paper ini adalah sebagai berikut. Bagian dua berisi metodologi penelitian, menjelaskan tentang perangkat lunak simulasi, lingkungan dan scenario simulasi. Bagian tiga berisi hasil simulasi dan pembahasan dan bagian empat berisi kesimpulan.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Omnetpp dan Castalia

OMNET++ [12] adalah perangkat lunak simulasi jaringan yang dibangun menggunakan bahasa pemrograman C++. OMNET++ terdiri dari beberapa modul protokol jaringan komputer bawaan yang dapat digunakan atau dimodifikasi untuk membangun semua simulasi. Pada dasarnya setiap modul terdiri dari minimal sebuah berkas *network descriptor* (NED) (.ned), sebuah berkas program C++ (\*.cpp) dan sebuah berkas header c++ (\*.h). Berkas NED ditulis dalam bahasa program NED dan berisi definisi parameter-parameter yang digunakan dalam modul dan *gate* yang digunakan untuk bertukar data dengan modul lain. Berkas C++ berisi implementasi program dari protokol jaringan. Sebuah berkas konfigurasi (\*.ini) dibutuhkan untuk menjalankan sebuah simulai. Berkas ini berisi modul-modul yang digunakan dalam simulasi untuk setiap lapisan arsitektur jaringan dan nilai parameter modul-modul tersebut

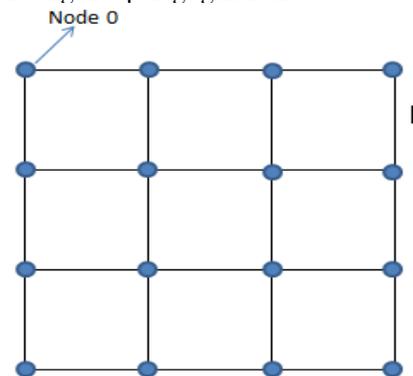


Gambar 1. Modul pada Simulator Castalia

CASTALIA[13] terdiri dari modul-modul protokol WSNs dan *body area network* (BANs) untuk platform OMNET++ . Modul-modul pada Castalia dikelompokan dalam modul node, modul proses fisik dan modul komunikasi nirkabel dan setiap modul terdiri dari beberapa sub-modul Gambar 1 menunjukkan hubungan antar modul dalam Castalia. Modul proses fisik mendefinisikan keadaan fisik lingkungan yang akan dideteksi oleh nodes seperti suhu, akselerasi,dll. Modul komunikasi nirkabel menangani parameter-parmanet kanal nirkabel pada simulasi seperti *path loss* dan interferensi. Modul komunikasi pada modul node terdiri dari tiga sub modul (radio, MAC dan *routing*) dan menangani komunikasi antar node.

### 2.2. Lingkungan Simulasi

Simulasi dilakukan pada daerah 60 x 60 meter dengan kepadatan 16 node. Node-node ditempatkan pada daerah simulasi menggunakan topologi Grid, dimana node ditempatkan pada posisi  $(x_i, y_i)$ , dengan jarak yang sama satu dan lainnya pada daerah simulasi dengan topologi grid  $N \times N$



Gambar 2 Topologi Grid

Parameter radio komunikasi yang digunakan pada simulasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Radio Komunikasi

Parameter	Nilai
Daya Pengiriman	0 dBm, -1 dBm, -5 dBm
Sensivitas Penerima	-95 dBm
Path Loss exponent	2.4
PLd0	55 dBm
Konsumsi Energi Penerima	60 mW
Kecepatan Data	250 kbps
Modulasi	PSK
Panjang paket	10 B

**2.3. Skenario Simulasi**

Simulasi dijalankan untuk mengukur dua faktor penting unjuk kerja jaringan nirkabel, (1) *Packet Delivery Rate (PDR)* dan (2) konsumsi energi di jaringan. Pada simulasi jaringan, node 0 (lih. Gambar 2) mengirimkan sebuah paket secara broadcast ke jaringan. Node lain yang menerima paket tersebut kemudian melakukan pengiriman ulang (*rebroadcast*) dengan cara sebagai berikut:

(1) Jika node tersebut belum pernah menerima paket tersebut maka node yang bersangkutan akan mengirimkan ulang paket yang diterimanya menggunakan metode *broadcast*.

(2) Jika node sudah pernah menerima paket yang sama sebelumnya node tersebut akan mengacuhkan paket yang diterimanya (tidak melakukan *rebroadcast*)

Simulasi dijalankan untuk Topologi Grid dengan parameter *duty cycle*, *beacon fraction* dan daya transmisi yang bervariasi untuk melihat unjuk kerja jaringan untuk tiap pasangan parameter MAC

Parameter hasil dari simulasi ini adalah:

(1) *Packet Delivery Rate (PDR)*

PDR di jaringan dihitung sebagai presentasi node di jaringan yang menerima broadcast paket dari node 0, dihitung menurut rumus berikut

$$PDR = \frac{\text{Jumlah node yg menerima paket}}{\text{jumlah node di jaringan}} \quad (1)$$

(2) Konsumsi Energi Jaringan

Konsumsi energy di jaringan dihitung sebagai energy rata-rata yang dikonsumsi oleh sebuah node dalam jaringan.

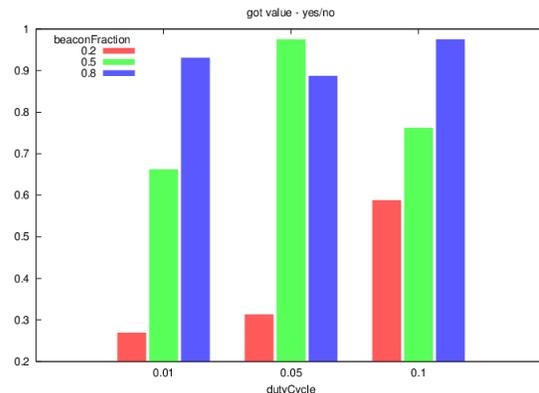
$$\text{energi} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i - E_{0i}}{n} \quad (2)$$

Dimana  $E_0$  adalah energi awal sebuah node sebelum simulasi dimulai dalam Joule dan  $E$  adalah energi akhir pada node setelah simulasi.

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1. Packet Delivery Rate (PDR)**

Pada simulasi ini PDR dapat dihitung dari persentase jumlah node yang berhasil menerima paket yang dikirimkan dengan metode broadcast.

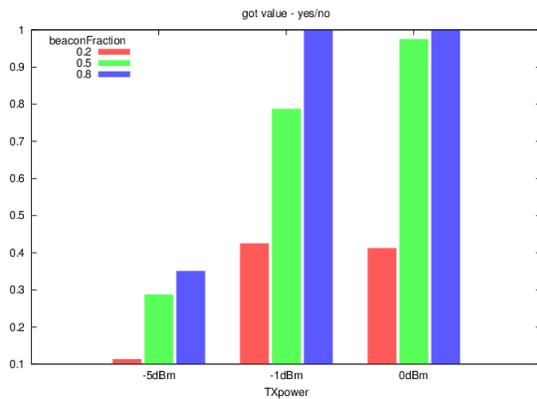


Gambar 3 Pengaruh *Duty Cycle* dan *Beacon Fraction* terhadap PDR

Secara umum dapat dilihat bahwa beacon fraction yang bernilai besar memberikan PDR yang lebih baik terutama pada jaringan dengan *duty cycle* yang kecil (*duty cycle* = 0.01). Selain itu, pada jaringan dengan beacon fraction yang kecil, nilai PDR menjadi semakin meningkat ketika *duty cycle* meningkat. Hal ini disebabkan *duty cycle* berbanding lurus dengan waktu aktif setiap node. Ketika waktu aktif meningkat maka node mempunyai peluang yang lebih besar untuk mendeteksi adanya pengiriman paket yang didahului oleh *beacon fraction* yang singkat.

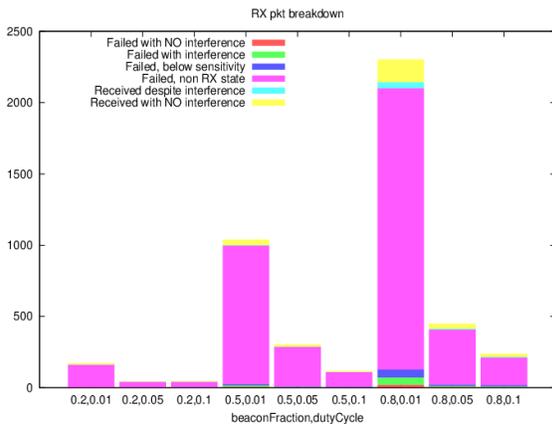
Gambar 4 menunjukkan pengaruh daya transmit terhadap PDR. Daya transmit yang terlalu kecil (contohnya: -5dBm) menyebabkan rendahnya PDR karena lebih sedikit node yang berada dalam daerah transmisi node pengirim. Meningkatkan daya transmisi menyebabkan lebih banyak node yang berada dalam daerah transmisi node pengirim

sehingga meningkatkan PDR. Ketika daya transmisi mencapai daya optimal, meningkatkan daya transmisi tidak meningkatkan PDR.



Gambar 4 Pengaruh Daya Transmisi terhadap PDR

Untuk melihat penyebab kegagalan pengiriman paket pada penggunaan *duty cycle* dan *beacon fraction* yang berbeda dipetakan distribusi pengkategorian paket yang diterima oleh node-node di jaringan seperti yang terdapat pada Gambar 5

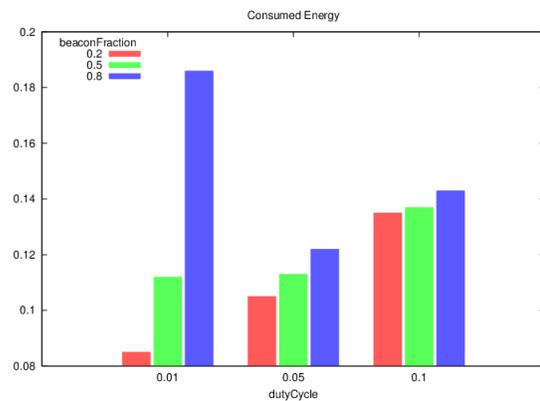


Gambar 5 Distribusi Kategori Penerimaan Paket

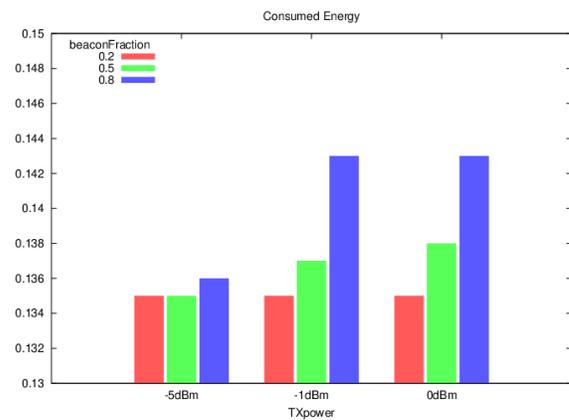
Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa sebagian besar kegagalan pengiriman paket disebabkan oleh paket dikirimkan pada saat penerima sedang menonaktifkan modul komunikasinya (*failed non Rx state* – warna merah muda) yang merupakan konsekuensi dari penggunaan *duty cycle*. Dapat dilihat juga bahwa untuk setiap nilai *beacon fraction*, meningkatkan nilai *duty cycle* (persentase waktu aktif node) menyebabkan menurunnya tingkat kegagalan penerimaan paket.

### 3.2. Konsumsi Energi Jaringan

Gambar 6 menunjukan konsumsi energy jaringan dalam Joule(J) untuk setiap nilai *duty cycle* dan *beacon fraction*. Seperti yang diharapkan konsumsi energy jaringan meningkat seiring meningkatnya nilai *beacon fraction*. Untuk nilai *beacon fraction* yang kecil (0.2 dan 0.5), konsumsi energi jaringan juga meningkat sejalan dengan peningkatan *duty cycle* (waktu aktif node dalam jaringan). Terdapat kasus khusus pada nilai *duty cycle* 0.01 dan nilai *beacon fraction* 0.8 yang mempunyai nilai konsumsi energy tertinggi. Hal ini kemungkinan besar disebabkan oleh banyaknya pengulangan pengiriman beacon pada jaringan *duty cycle* kecil.



Gambar 6 Pengaruh Parameter *duty cycle* dan *beacon fraction* terhadap konsumsi energi jaringan.



Gambar 7 Pengaruh Daya Transmisi terhadap Konsumsi Energi Jaringan

Gambar 7 mendeskripsikan pengaruh penggunaan daya transmisi yang berbeda terhadap konsumsi energi jaringan. Seperti yang diharapkan pada daya transmisi rendah (-5 dBm) konsumsi daya energy juga rendah namun hal ini berakibat pada rendahnya PDR (lih. Section PDR). Pada daya transmisi -1 dBm

dan 0 dBm daya konsumsi energy meningkat sejalan dengan meningkatnya *beacon fraction*.

#### 4. KESIMPULAN

Paper ini mengevaluasi pengaruh penggunaan parameter MAC yang berbeda terhadap unjuk kerja dan konsumsi daya pada jaringan sensor nirkabel. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pasangan parameter *duty cycle* dan *beacon fraction* yang berbeda menghasilkan unjuk kerja jaringan yang berbed (diidentifikasi dengan tinggi rendahnya nilai PDR). Secara umum, *beacon fraction* yang sangat rendah (0.2) memberikan nilai PDR yang rendah, terlebih apabila di pasangkan dengan *duty cycle* yang rendah. Penggunaan daya transmisi yang relative rendah terhadap jarak antar node, walaupun menguntungkan dari sisi konsumsi energy, menyebabkan rendahnya PDR. Penggunaan nilai *beacon fraction* dan *duty cycle* yang tepat dan pemilihan daya transmisi yang tepat sesuai jarak antar node menghasilkan PDR yang tinggi dan konsumsi energi yang optimum.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," in *INFOCOM 2002. Twenty-First Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Proceedings. IEEE*, 2002, pp. 1567-1576.
- [2] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks," *Networking, IEEE/ACM Transactions on*, vol. 12, pp. 493-506, 2004.
- [3] T. Van Dam and K. Langendoen, "An adaptive energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," in *Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems*, 2003, pp. 171-180.
- [4] P. Lin, C. Qiao, and X. Wang, "Medium access control with a dynamic duty cycle for sensor networks," in *Wireless Communications and Networking Conference, 2004. WCNC. 2004 IEEE*, 2004, pp. 1534-1539.
- [5] S. Ghosh, P. Veeraraghavan, S. Singh, and L. Zhang, "Performance of a wireless sensor network mac protocol with a global sleep schedule," *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, vol. 4, pp. 99-114, 2009.
- [6] Y. Li, W. Ye, and J. Heidemann, "Energy and latency control in low duty cycle MAC protocols," in *Wireless Communications and Networking Conference, 2005 IEEE*, 2005, pp. 676-682.
- [7] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler, "Versatile low power media access for wireless sensor networks," in *Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems*, 2004, pp. 95-107.
- [8] C. C. Enz, A. El-Hoiydi, J.-D. Decotignie, and V. Peiris, "WiseNET: an ultralow-power wireless sensor network solution," *Computer*, vol. 37, pp. 62-70, 2004.
- [9] W. Ye, F. Silva, and J. Heidemann, "Ultra-low duty cycle MAC with scheduled channel polling," in *Proceedings of the 4th international conference on Embedded networked sensor systems*, 2006, pp. 321-334.
- [10] M. Buettner, G. V. Yee, E. Anderson, and R. Han, "X-MAC: a short preamble MAC protocol for duty-cycled wireless sensor networks," in *Proceedings of the 4th international conference on Embedded networked sensor systems*, 2006, pp. 307-320.
- [11] Y. Sun, O. Gurewitz, and D. B. Johnson, "RI-MAC: a receiver-initiated asynchronous duty cycle MAC protocol for dynamic traffic loads in wireless sensor networks," in *Proceedings of the 6th ACM conference on Embedded network sensor systems*, 2008, pp. 1-14.
- [12] A. Varga, "OMNeT user manual version 3.2," ed.
- [13] A. Boulis, "Castalia User Manual," *NICTA. Marzo del*, 2011.