

Analisa Kinerja Protokol Sensor Media Access Control (S-MAC) pada Jaringan Sensor Nirkabel

Kusuma Abdillah dan Wirawan

Jurusan Elektro, Fakultas Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: wirawan@ee.its.ac.id

Abstraksi—Jaringan sensor nirkabel digunakan untuk memantau suatu kondisi lingkungan seperti daerah rawan bencana. Node-node sensor disebar dalam skala yang besar pada lingkungan yang jauh atau sulit dari akses manusia. Konsumsi energi merupakan hal utama yang harus diperhatikan karena sangat susah untuk mengganti baterai dalam kondisi lingkungan yang jauh dari jangkauan manusia. Untuk mengatasi permasalahan energi telah dikembangkan protokol S-MAC. Protokol S-MAC merupakan protokol yang dikembangkan khusus untuk jaringan sensor nirkabel. Dalam protokol S-MAC terdapat periode tidur (*sleep*) dan periode aktif (*listening*) dalam frame formatnya. Pada tugas akhir ini bertujuan membuat simulasi dari protokol S-MAC dengan menggunakan perangkat lunak NS-2. Dari hasil simulasi dapat dijelaskan bahwa untuk topologi sepuluh hop dengan interval pengiriman satu detik, protokol s-mac adaptif listening mempunyai nilai throughput 66,33% lebih kecil dibanding protokol s-mac tanpa periode tidur, dan protokol tanpa adaptif listening mempunyai nilai throughput 82,36% lebih kecil dibanding protokol s-mac tanpa periode tidur. Sedangkan untuk interval pengiriman sepuluh detik ketiga protokol tersebut mempunyai nilai throughput yang sama yaitu sebesar 10 byte/detik. Tetapi dalam hal konsumsi energi protokol s-mac adaptif listening menghemat energi sebesar 65,94% dibanding dengan protokol s-mac tanpa periode tidur, dan protokol s-mac tanpa adaptif listening menghemat energi sebesar 45,55% dibanding protokol s-mac tanpa periode tidur. Pada topologi dua hop linier dengan dua node sumber, untuk interval pengiriman sepuluh detik semua protokol mempunyai nilai throughput yang lebih tinggi 100% dibanding dengan satu node sumber. Dan nilai konsumsi energi pada dua node sumber untuk s-mac adaptif listening lebih boros sebesar 19,2% dibanding s-mac adaptif listening dengan satu node sumber dan untuk tanpa adaptif listening lebih boros 50,94% dibanding tanpa adaptif listening dengan satu node sumber.

Kata Kunci—*Wireless sensor network, medium access control, efisiensi energi, s-mac.*

I. PENDAHULUAN

JARINGAN sensor nirkabel adalah jaringan yang terdiri dari node-node sensor yang disebar pada area tertentu. Node sensor terdiri dari beberapa bagian seperti *embedded processor, memory*, sensor, dan radio dengan konsumsi energi yang minimum. Perangkat pada node sensor membutuhkan baterai sebagai sumber energinya. Node sensor digunakan untuk mengumpulkan, merasakan, memproses data, dan mengirimkan data. Node sensor menggunakan link komunikasi nirkabel agar dapat berkomunikasi dengan node-node lainnya.

Ada beberapa teknik dan cara agar node sensor dapat mengonsumsi energi secara efisien. Salah satunya yaitu dengan mempertimbangkan peran dari protokol *media access control* (MAC). MAC merupakan bagian dari lapisan *data link control*. MAC mempunyai fungsi untuk mengatur akses media agar tidak terjadi tabrakan data (*collision*). Sebagai contoh yaitu protokol MAC pada 802.11 yang digunakan pada jaringan komputer nirkabel. Tetapi protokol 802.11 ini tidak cocok untuk digunakan pada jaringan sensor nirkabel. Dikarenakan protokol 802.11 tidak didesain untuk penghematan konsumsi energi [1].

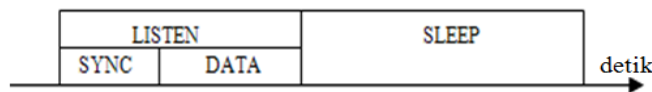
Salah satu protokol yang sesuai pada jaringan sensor nirkabel yaitu protokol *Sensor-Media Access Control* (S-MAC). S-MAC menggunakan periode tidur (*sleep*) untuk mengurangi pembuangan energi ketika dalam kondisi idle. Protokol S-MAC berbeda dengan protokol 802.11 yang mana protokol 802.11 hanya mempunyai periode aktif saja untuk kondisi *idle* sehingga dapat membuang energi secara percuma. S-MAC mempunyai dua periode dalam frame formatnya yaitu periode aktif (*listen*) dan periode tidur (*sleep*). Sensor node akan mematikan sistem radionya jika periode tidur telah tiba. Dan akan bangun hanya jika node sensor ingin melakukan sinkronisasi dan pengiriman paket data.

Pada tugas akhir ini akan dilakukan suatu penganalisaan karakteristik kinerja dari protokol S-MAC dengan cara mensimulasikan menggunakan perangkat lunak *network simulator 2* (NS-2). Dalam tugas tugas akhir ini parameter-parameter analisa data yang digunakan yaitu *throughput, end to end delay*, dan konsumsi energi.

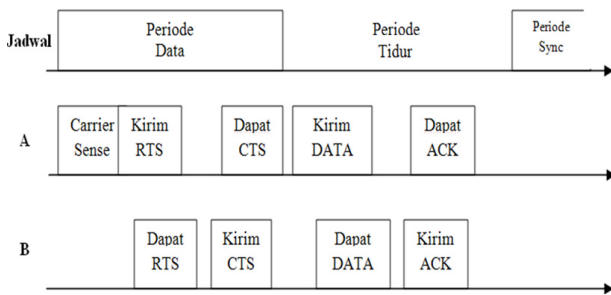
II. TEORI PENUNJANG

A. *Sensor-Medium Access Control* (S-MAC)

S-MAC adalah protokol medium access control yang didesain khusus untuk jaringan sensor nirkabel. Protokol ini didesain oleh We Yei [2]-[3], dan diperkenalkan oleh grup SCADDS di USC/ISI [4]. Protokol S-MAC mempunyai kemampuan penghematan dalam hal konsumsi energi. Telah diketahui sumber penyebab dari pemborosan energi yaitu: *idle listening, collision, overhearing* dan *control overhead*. Untuk mengatasi hal tersebut protokol S-MAC menggunakan beberapa komponen yaitu: periode aktif dan tidur, *collision & overhearing avoidance, message passing*. Berikut akan dijelaskan tentang komponen-komponen yang ada pada S-MAC.



Gambar. 1. Format frame s-mac.



Gambar. 2. Proses pengiriman data tanpa tabrakan.

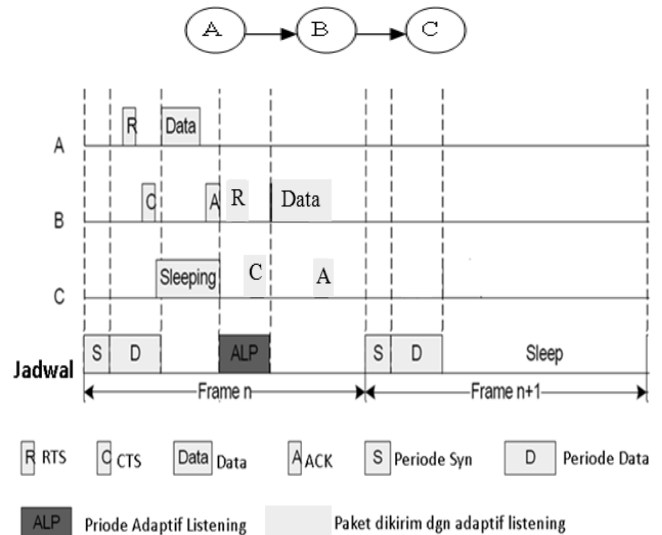
A.1 Periode Aktif dan Tidur

Telah diketahui dalam aplikasi jaringan sensor nirkabel, node-node sensor akan dalam kondisi *idle* pada waktu yang lama jika node-node sensor tidak dalam kondisi merasakan untuk mengumpulkan informasi dari lingkungan sekitar. Pada saat kondisi *idle* kecepatan data yang dimiliki sangatlah rendah. Maka node-node sensor tidak perlu menjaga kondisi *idle* untuk setiap waktu, dikarenakan dapat membuang energi secara percuma. Untuk mengatasi pembuangan energi tersebut digunakan teknik periode aktif dan tidur.

Skema dasar dari teknik periode aktif dan tidur ditunjukkan pada Gambar 1. Setiap node sensor akan dalam kondisi tidur untuk beberapa waktu, kemudian akan bangun dan mendengarkan apakah ada node-node sensor yang lain ingin berbicara untuk bertukar informasi. Selama periode tidur node sensor akan mematikan sistem radionya, dan secara bersamaan juga mengatur timernya untuk membangunkan dirinya sendiri. Durasi dari periode aktif dan tidur dapat diatur sesuai kebutuhan. Pengguna dapat mengatur periode dari aktif dan tidur dengan cara merubah nilai prosentase dari *duty cycle* mulai dari 1% - 99%. *Duty cycle* merupakan perbandingan antara panjang durasi aktif terhadap panjang seluruh frame. Semakin rendah nilai *duty cycle* maka semakin besar pula penghematan energinya. Periode aktif terdapat dua bagian yaitu periode sinkronisasi (Sync) untuk pengiriman paket sinkronisasi dan periode data untuk pengiriman paket data.

A.2 Overhear & Collision Avoidance

Collision & Overhear avoidance merupakan salah satu tugas utama dari protokol Media Access Control (MAC). Protokol S-MAC mengadopsi mekanisme RTS/CTS seperti pada protokol 802.11 untuk mengatasi masalah *hidden station* [5]. Telah diketahui bahwa mekanisme RTS/CTS yang didefinisikan pada protokol 802.11 secara efisien dapat mengurangi peluang terjadinya tabrakan data dan juga dapat menyelesaikan permasalahan yang disebut *hidden station*. Dalam melakukan pengiriman atau penerimaan paket data harus didahului proses pertukaran paket RTS dan CTS terlebih dahulu seperti pada Gambar 2.



Gambar. 3. Mekanisme pengiriman paket data dengan *adaptive listening*.

Pada paket RTS dan CTS terdapat informasi yang mengindikasikan berapa lama durasi dari proses pengiriman data yang akan berlangsung. Jadi jika ada node-node tetangga yang menerima paket RTS dan CTS akan menidurkan diri selama proses pengiriman data antara node A dan B selesai, peristiwa seperti ini yang disebut dengan *overhear avoidance*. Node-node tetangga tersebut akan menyimpan informasi durasi pengiriman data pada variable yang disebut *Network Allocation Vector* (NAV) dengan cara mengatur timernya [6]. Ketika timer dari NAV mulai diaktifkan, node akan mulai mengurangi nilai timernya sampai bernilai nol. Ketika node mempunyai paket data yang harus dikirim, node pertama kali akan melihat nilai dari timer NAV. Jika nilai timer NAV sudah mencapai nilai nol node akan menentukan bahwa medium dalam kondisi bebas dan node akan membangunkan diri untuk melakukan proses pengiriman data. Jika nilai timer NAV belum mencapai nilai nol node akan menentukan bahwa medium dalam kondisi sibuk maka proses pengiriman harus ditunda terlebih dahulu sampai nilai timer NAV bernilai nol. Teknik seperti yang telah dijelaskan itu disebut dengan *virtual carrier sense*.

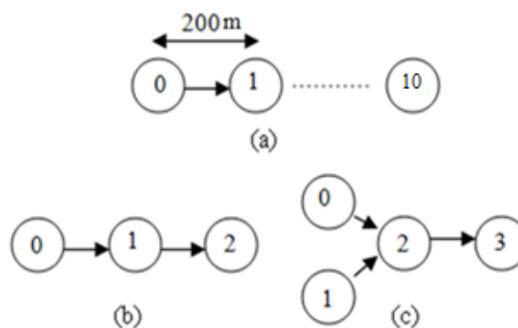
A.3 Message Passing

Permasalahan lain dalam pemborosan energi selain *overhearing* yaitu permasalahan *control overhead*. *Control overhead* mempunyai pengertian yaitu harga (energi dan waktu) yang dikeluarkan dalam pertukaran paket kontrol (RTS/CTS/ACK) ketika melakukan pengiriman sebuah paket data secara *unicast*.

Pengiriman sebuah pesan yang panjang dengan menggunakan sebuah paket data tunggal akan meningkatkan risiko terjadinya pengiriman ulang paket data jika terjadi error. Sehingga peristiwa seperti ini juga mengakibatkan pemborosan energi. Bagaimanapun juga, jika sebuah pesan yang panjang dipecah menjadi potongan-potongan paket kecil, itu juga akan mendapat permasalahan seperti *control overhead*

Tabel I.
Parameter simulasi S-MAC

Jenis MAC	S-MAC
Protokol Routing	NOAH (Multihop Statis)
Panjang frame paket data	250 Byte
Contention window untuk sinkronisasi	15 slot
Contention window untuk data	31 slot
Konsumsi daya pancar	36 mWatt
Konsumsi daya penenerima	14.4 mWatt
Konsumsi daya idle	14.4 mWatt
Konsumsi daya tidur	15 μ Watt
Duty cycle	10%



Gambar. 4. Topologi linier: (a) sepuluh hop, (b) dua hop satu sumber, dan (c) dua hop dua sumber.

yang besar dan *delay* yang lebih lama. Hal ini dikarenakan paket RTS dan paket CTS digunakan untuk memesan medium pada setiap potongan paket data.

Pada protokol S-MAC terdapat teknik *message passing*. Prinsip dasar teknik message passing ini adalah memecah sebuah pesan yang panjang kedalam potongan-potongan paket data yang kecil kemudian dikirimkan ke node penerima. Hanya satu paket RTS dan paket CTS yang digunakan pada teknik *message passing*. Paket RTS dan paket CTS digunakan untuk memesan medium untuk seluruh potongan paket data. Setiap waktu potongan paket data dikirimkan, node pengirim akan menunggu sebuah paket ACK dari node penerima. Jika gagal menerima paket ACK, node pengirim akan memperpanjang waktu pengiriman untuk satu atau lebih potongan paket data, dan dengan segera melakukan pengiriman ulang.

Semua paket mempunyai kolom durasi, yang mana dibutuhkan untuk proses pengiriman semua potongan paket data dan paket ACK. Jika sebuah node tetangga mendengar paket RTS atau CTS, maka node tersebut harus menidurkan diri selama proses pengiriman seluruh potongan paket data selesai.

Tujuan dari penggunaan paket ACK pada setiap potongan paket data adalah untuk mencegah terjadinya *hidden station*. *Hidden station* mungkin dapat terjadi pada node tetangga yang bangun atau ada sebuah node baru yang bergabung dipertengahan proses pengiriman paket data. Jika node baru tersebut hanya merupakan tetangga dari node penerima dan bukan tetangga dari node pengirim, maka node itu tidak akan mendengarkan potongan-potongan paket data yang dikirim oleh node pengirim. Jika node penerima tidak mengirimkan paket ACK maka node baru itu akan membuat suatu kesalahan, yaitu menduga bahwa tidak ada proses pengiriman data. Sehingga jika node baru melakukan sebuah pengiriman paket data atau sinkronisasi, maka proses pengiriman yang dilakukan oleh node baru tersebut akan mengganggu proses pengiriman data sebelumnya.

A.4 Adaptif Listening

Skema dari periode aktif dan tidur secara signifikan dapat mengurangi *delay* ketika beban trafik sangat ringan. Tetapi untuk beban trafik yang padat maka akan terjadi *delay* yang

panjang pada setiap hopnya. Untuk mengatasi *delay* yang tinggi akibat beban trafik yang padat, pada protokol S-MAC terdapat mekanisme untuk mengaktifkan sistemnya pada pertengahan periode tidurnya, sehingga node dapat berubah menjadi lebih aktif meski dalam kondisi *duty cycle* yang rendah. Teknik seperti ini disebut dengan *adaptive listening*.

Protokol S-MAC menggunakan teknik *adaptive listening* untuk memperbaiki *delay* yang disebabkan oleh periode tidur dari masing-masing node. Konsep dasar dari teknik ini yaitu mengizinkan node yang mendengar paket RTS/CTS untuk bangun pada pada akhir proses pengiriman data. Jadi node penerima dapat dengan segera dapat melanjutkan pengiriman kepada node berikutnya.

Berdasarkan Gambar 3 terdapat tiga node yaitu node A, B, dan C. Dimulai dari pengiriman paket data dari node A menuju node B. Node A akan mengirimkan paket RTS dan node B akan membalas dengan paket CTS. Dalam kondisi seperti ini node C akan mendengarkan paket CTS dari node B. Node C akan mempelajari berapa lama durasi pengiriman paket data antara node A dan node B. Sehingga node C akan bangun ketika proses pengiriman paket data antara node A dan node B berakhir. Dan secara tepat node B dapat melanjutkan pengiriman paket data tersebut ke node C.

III. SIMULASI PROTOKOL S-MAC

A. Konfigurasi Topologi node

Topologi yang digunakan pada simulasi adalah menggunakan tiga macam topologi linier seperti pada Gambar 4. Dikarenakan pada ns-2 secara default jarak pancarnya adalah 250 meter maka jarak yang digunakan dalam perhopnya adalah 200 meter. Sehingga hanya tetangga terdekat yang dapat mendengarkan proses pengiriman paket data.

Dikarenakan pada simulasi ini secara murni hanya menguji performa protokol s-mac maka protokol routing yang digunakan adalah protokol routing multihop statis, pada ns-2 disebut dengan protokol routing NOAH. Untuk jenis paket yang digunakan adalah paket UDP dengan ukuran 100 Byte perpaket. Jenis sumber trafik yang digunakan adalah jenis sumber trafik CBR. Masing-masing node sumber akan membangkitkan maksimal 500 paket.

B. Konfigurasi Protokol S-MAC

Setelah melakukan konfigurasi node maka langkah selanjutnya adalah melakukan konfigurasi protokol s-mac. Pada simulasi ini digunakan protokol s-mac dengan panjang frame paket data 250 Byte. Contention window untuk sinkronisasi sebesar 15 time slot dan contention window untuk data 31 time slot.

Untuk melakukan simulasi dengan pengukuran konsumsi energi maka pada simulasi harus ditambahkan parameter konsumsi daya. Untuk konsumsi daya pancar, penerima, idle, dan tidur secara berurut adalah 36 mW, 14.4 mW, 14.4 mW, 15 μW. Untuk parameter simulasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Pada simulasi protokol s-mac ada beberapa mode yang digunakan yaitu sebagai berikut.

1. S-mac tanpa periode tidur.
2. S-mac tanpa adaptif listening dengan *duty cycle* 10%.
3. S-mac dengan adaptif listening dengan *duty cycle* 10%.

C. Perhitungan Jarak Pancar Radio pada Propagasi TwoRay Ground

Meski secara default jarak pancar radio pada propagasi two ray ground bernilai 250 meter. Untuk meyakinkan maka dalam pembuatan simulasi akan digunakan parameter pemancar radio secara manual. Dan untuk itu dalam melakukan pembuatan topologi node hal pertama yang harus diperhatikan adalah berapa jangkauan pancar radionya. Dikarenakan jangkauan pancar radio akan menentukan berapa jarak yang dibutuhkan antar node-node tetangga dalam menentukan posisi node. Berikut merupakan perhitungan secara manual untuk menentukan jarak pancar radio dalam propagasi *two ray ground*.

Parameter yang digunakan:

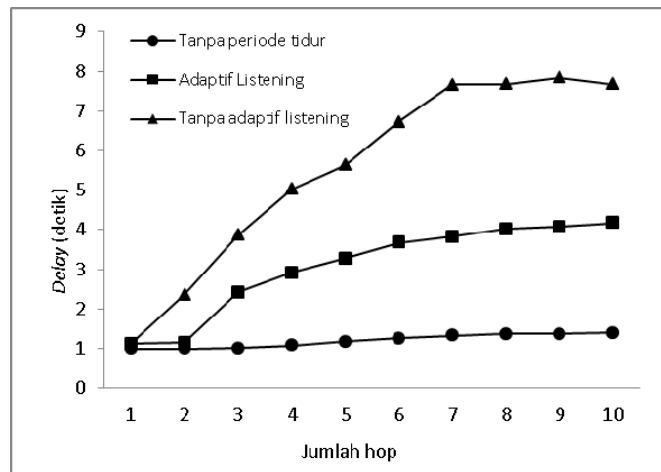
- Pt (daya pancar) = 0,28183815 watt.
- Pr (respons sensitivitas) = $3,652 \cdot 10^{-10}$ watt.
- ht (ketinggian antenna pemancar) = 1,5 meter.
- hr (ketinggian antenna penerima) = 1,5 meter.
- Gt (gain antenna pemancar) = 1.
- Gr (gain antenna penerima) = 1.

$$d = \sqrt{\frac{Pt \cdot Gt \cdot Gr \cdot ht^2 \cdot hr^2}{Pr}}$$

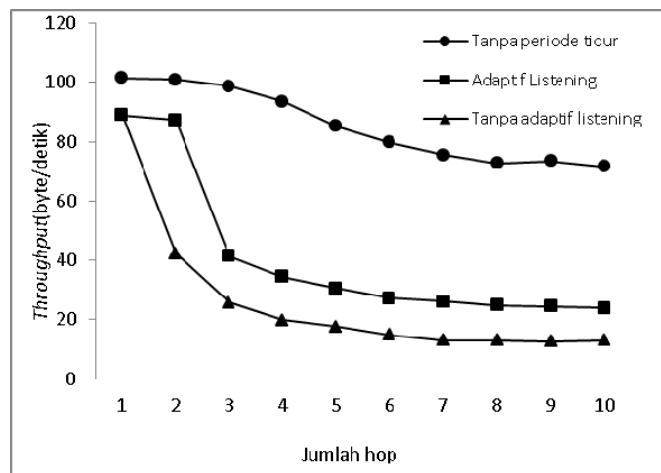
$$d = \sqrt{\frac{0,28183815 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5^2 \cdot 1,5^2}{3,652 \cdot 10^{-10}}}$$

d = 250,01 meter

Dari perhitungan telah di dapat nilai dari jarak pancar radio sebesar 250 meter. Sehingga dalam menentukan posisi node dalam tugas akhir ini yaitu nilai jarak antar node tetangga sejauh 200 meter. Pemilihan nilai sebesar 200 meter ini dimaksudkan hanya node-node tetangga yang terdekat saja yang dapat mendengarkan suatu proses pengiriman data disekitarnya



Gambar. 5. Pengukuran delay pada jumlah hop yang berbeda dengan interval pengiriman pesan satu detik.

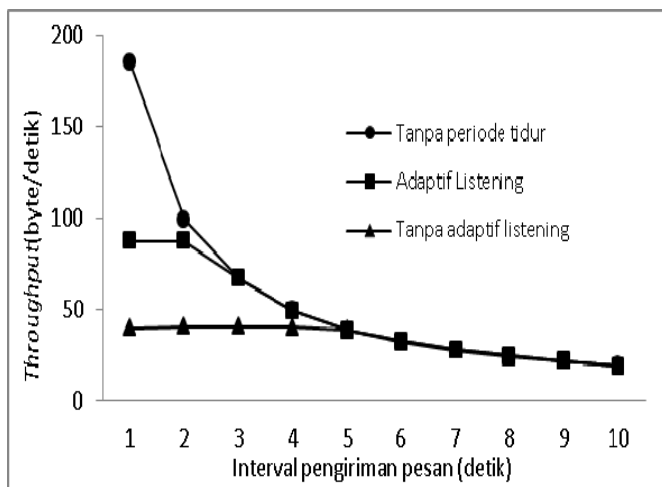


Gambar. 6. Pengukuran throughput pada jumlah hop yang berbeda dengan interval pengiriman pesan satu detik.

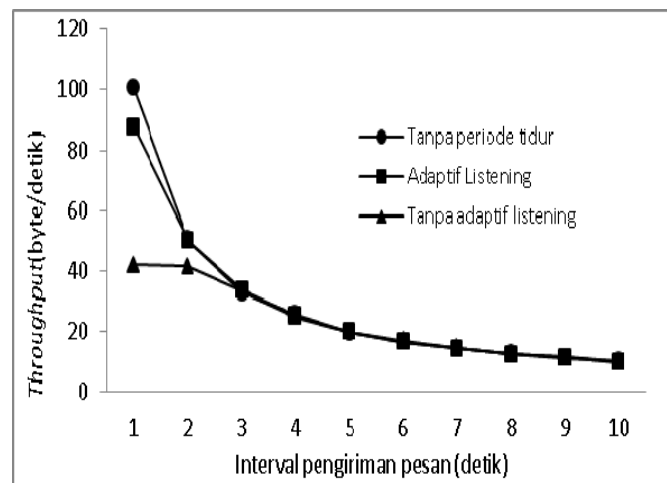
IV. HASIL SIMULASI

A. Hasil Simulasi pada Jumlah Hop yang Berbeda

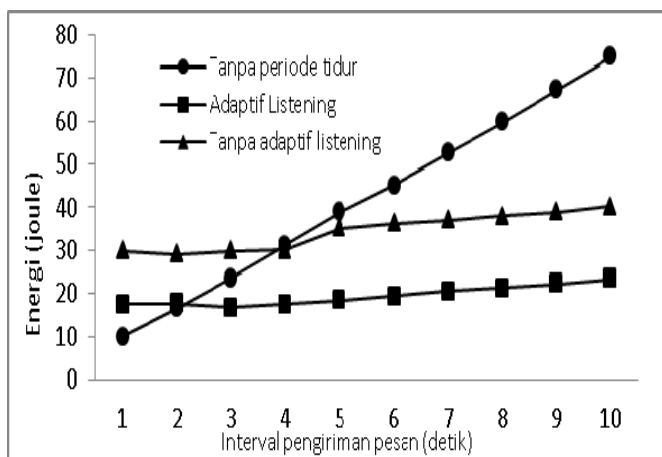
Pada bagian ini merupakan hasil simulasi dari topologi linier dengan jumlah hop yang berbeda dan dengan interval pengiriman pesan satu detik. Dari Gambar 5 dan Gambar 6 dapat dilihat bahwa nilai throughput berbanding terbalik dengan nilai delay. Untuk protokol s-mac tanpa periode tidur secara jelas mempunyai nilai throughput paling besar. Hal ini dikarenakan pada s-mac tanpa periode tidur mempunyai delay yang kecil dibanding dengan protokol s-mac yang menggunakan periode tidur. Untuk protokol s-mac dengan adaptif listening pada hop ke-1 mempunyai nilai throughput yang hampir sama dengan s-mac tanpa adaptif listening. Tetapi mulai hop ke-2 dan seterusnya s-mac dengan adaptif listening mempunyai nilai throughput jauh lebih besar dibanding s-mac tanpa adaptif listening. Hal ini dikarenakan mekanisme adaptif listening mulai dapat bekerja untuk jumlah hop lebih dari satu. S-mac adaptif listening dapat melewati paket data lebih dari satu hop dalam satu siklus frame



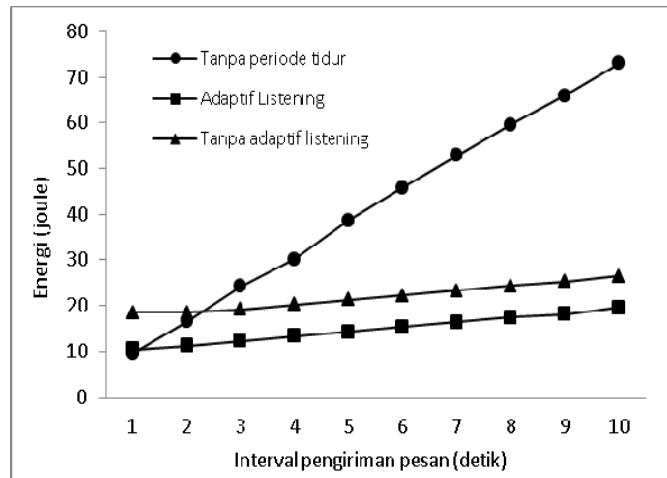
Gambar 7. Pengukuran *throughput* topologi dua hop linier dua sumber



Gambar 9. Pengukuran *throughput* topologi dua hop linier satu sumber



Gambar 8. Pengukuran konsumsi energi pada node sumber untuk topologi dua hop linier dua node sumber



Gambar 10. Pengukuran energi pada node sumber untuk topologi dua hop linier satu node sumber

formatnya. Sedangkan s-mac tanpa *adaptif listening* hanya dapat melewati pesan satu hop saja untuk setiap siklus frame formatnya.

B. Perbandingan Dua Sumber dengan Satu Sumber

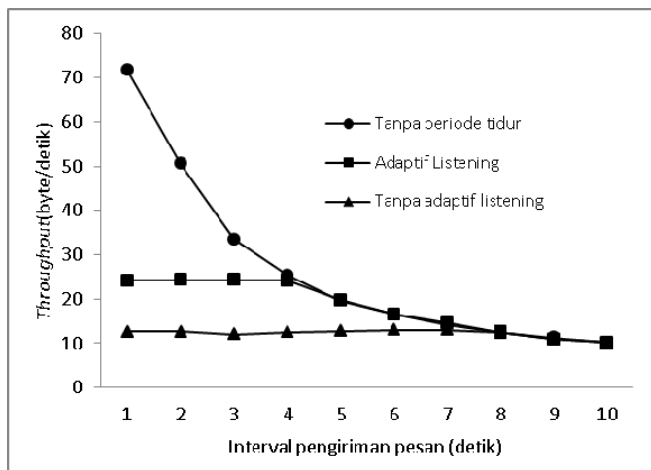
Pada bagian ini merupakan hasil simulasi pada topologi dua hop linier dengan dua node sumber dan satu node sumber. Gambar 7 merupakan hasil pengukuran nilai *throughput* dengan dua node sumber dan untuk Gambar 9 merupakan hasil pengukuran *throughput* dengan satu node sumber. Dari gambar tersebut dapat dibandingkan bahwa topologi yang menggunakan dua node sumber mempunyai nilai *throughput* yang lebih tinggi dibanding dengan topologi menggunakan satu node sumber. Pada interval ke-10 topologi dengan dua node sumber mulai mempunyai nilai *throughput* 20 byte/detik untuk semua mode, sedangkan pada topologi dengan satu sumber pada interval ke-10 mempunyai nilai *throughput* 10 byte/detik. Hal ini dikarenakan pada topologi dua sumber meski interval pengiriman mulai dalam kondisi rendah tetapi kondisi trafik pada jaringan masih tetap padat dikarenakan kedua node sumber tersebut dapat mengirimkan paket secara

bergantian. Sedangkan pada topologi dengan satu node sumber hanya satu node saja yang dapat mengirimkan paket pesan. Jadi jika interval pengiriman pesan mulai rendah maka kondisi trafik dalam jaringan akan menjadi ringan.

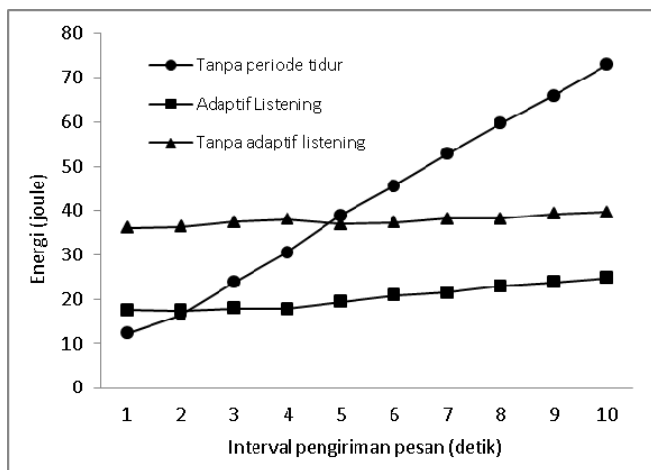
Hasil pengukuran nilai konsumsi energi pada node sumber dapat dilihat pada Gambar 8 untuk topologi dengan dua node sumber dan Gambar 10 untuk topologi dengan satu node sumber. Dari gambar tersebut dapat dijelaskan bahwa pada s-mac dengan periode tidur, nilai konsumsi energi pada topologi dengan dua node sumber mempunyai nilai yang lebih besar dibanding dengan topologi menggunakan satu node sumber. Hal ini dikarenakan ketika suatu jaringan mempunyai dua node sumber maka masing-masing node sumber tersebut harus mengirimkan secara bergantian sehingga akan membutuhkan waktu sedikit lebih lama. Sedangkan untuk jaringan dengan satu node sumber dapat secara langsung mengirimkan paket pesan dan segera dapat menidurkan diri.

C. Hasil Simulasi pada Topologi Sepuluh Hop Linier

Gambar 11 menunjukkan nilai *throughput* pada topologi sepuluh hop linier dengan interval pengiriman pesan yang berbeda. Untuk interval pengiriman detik ke-1 protokol s-mac



Gambar. 11. Pengukuran *throughput* dengan interval pengiriman pesan berbeda.



Gambar. 12. . Konsumsi energi pada interval pengiriman pesan berbeda

tanpa periode tidur mempunyai nilai *throughput* 71,66 byte/detik, s-mac dengan adaptif listening mempunyai nilai *throughput* 24,13 byte/detik dan s-mac tanpa adaptif listening mempunyai *throughput* 12,64 byte/detik. Sedangkan pada interval ke-10 atau ketika beban trafik ringan semua mode mempunyai nilai *throughput* yang sama yaitu sebesar 10 byte/detik.

Dalam hal konsumsi energi dapat dilihat pada Gambar 12. Pada protokol s-mac tanpa periode tidur mempunyai konsumsi yang paling rendah pada interval 1-2 detik. Hal ini dikarenakan protokol tersebut sangat handal dan efisien untuk kondisi trafik yang padat. Tetapi ketika kondisi trafik mulai ringan protokol s-mac tanpa periode tidur mempunyai konsumsi energi sebesar 72.87 joule, s-mac adaptif listening sebesar 24,82 joule dan s-mac tanpa adaptif listening sebesar 39,62 joule. Hal ini dikarenakan hanya sedikit pesan yang dikirim oleh node tetapi pada protokol s-mac tanpa periode tidur tetap dalam kondisi aktif. Sedangkan untuk protokol s-mac tanpa atau dengan adaptif listening dapat menidurkan diri ketika tidak ada pesan yang dikirim.

V. KESIMPULAN

Dari analisa data dapat disimpulkan bahwa untuk topologi sepuluh hop dengan interval pengiriman satu detik, protokol s-mac adaptif listening mempunyai nilai *throughput* 66,33% lebih kecil dibanding protokol s-mac tanpa periode tidur, dan protokol tanpa adaptif listening mempunyai nilai *throughput* 82,36% lebih kecil dibanding protokol s-mac tanpa periode tidur. Sedangkan untuk interval pengiriman sepuluh detik ketiga protokol tersebut mempunyai nilai *throughput* yang sama yaitu sebesar 10 byte/detik. Tetapi dalam hal konsumsi energi protokol s-mac adaptif listening menghemat energi sebesar 65,94% dibanding dengan protokol s-mac tanpa periode tidur, dan protokol s-mac tanpa adaptif listening menghemat energi sebesar 45,55% dibanding protokol s-mac tanpa periode tidur. Pada topologi dua hop linier dengan dua node sumber, untuk interval pengiriman sepuluh detik semua protokol mempunyai nilai *throughput* yang lebih tinggi 100% dibanding dengan satu node sumber. Dan nilai konsumsi energi pada dua node sumber untuk s-mac adaptif listening lebih boros sebesar 19,2% dibanding s-mac adaptif listening dengan satu node sumber dan untuk tanpa adaptif listening lebih boros 50,94% dibanding tanpa adaptif listening dengan satu node sumber.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Jennifer Yick, Biswanath Mukherjee, Dipak Ghosal, "Wireless sensor network survey", *Computer Networks* 52, 2008, pp. 2292–2330.
- [2] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An energy-efficient mac protocol for wireless sensor networks," in *Proc. IEEE INFOCOM*, New York, NY, June 2002, pp. 1567–1576.
- [3] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin. "Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks". *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, 12(3):493–506, 2004.
- [4] SCADDS: Scalable Coordination Architectures for Deeply Distributed Systems, <http://www.isi.edu/scadds/projects/smac/>, April, 2012
- [5] V. Bharghavan, A. Demers, S. Shenker, and L. Zhang, "MACAW: A media access protocol for wireless lans," in *Proc. ACM SIGCOMM*, London, U.K., Sept. 1994, pp. 212–225.
- [6] Pablo Brenner, "A Technical Tutorial on the IEEE 802.11 Protocol".