# ANALISIS PERFORMANSI PENJADWALAN DINAMIS PADA *WIRELESS BODY AREA NETWORK* (WBAN) UNTUK EFISIENSI ENERGI

## *PERFORMANCE ANALYSIS OF DYNAMIC SCHEDULING ON WIRELESS BODY AREA NETWORK (WBAN) FOR ENERGY EFFICIENCY*

**Rama Aditya Putra[1], Dr. Ida Wahidah, S.T, M.T.[2], Ratna Mayasari, S.T., M.T.[3]**
[1,2.3]Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
**[1]ramadityap@student.telkomuniversity.ac.id**, **[2]wahidah@telkomuniversity.co.id**,
**[3]ratnamayasari@telkomuniversity.ac.id**

**Abstrak**

*Wireless Body Area Network* (WBAN) merupakan subkelas dari *Wireless Sensor Networks* (WSN) di mana pada WSN menggunakan protokol berbasis IEEE 802.15.4. Protokol yang digunakan dalam WBAN adalah IEEE 802.15.6 di mana protokol tersebut merupakan pengembangan dari protokol IEEE 802.15.4. WBAN adalah jaringan sensor pemantauan kesehatan dengan sumber daya terbatas sehingga dibutuhkan suatu efisiensi energi untuk menjaga jaringan WBAN tetap bekerja dalam waktu yang sangat lama. Protokol *Medium Access Control* (MAC) dapat membantu dalam mencapai WBAN yang andal dan hemat energi. Penelitian dilakukan dengan membandingkan performansi penjadwalan dinamis pada protokol yang digunakan dalam penelitian penjadwalan pada WBAN adalah IEEE 802.15.4 dan IEEE 802.15.6 melalui dua skenario. Skenario I melakukan pengujian pada metode GTS *on* dan *off*. Skenario II melalukan pengujian metode terbaik dari skenario I dengan metode *Polling*. Protokol IEEE 802.15.4 menggunakan metode *Guaranteed Time Slot* (GTS) *off* dengan *Carrier Sense Multiple Access-Collision Avoidance* (CSMA-CA) untuk pengiriman data reguler dan GTS *on* dengan *Time Division Multiple Access* (TDMA) untuk pengiriman data prioritas. Untuk metode terbaru yang digunakan oleh protokol IEEE 802.15.6 memiliki sistem *Polling* dalam pengiriman data. Uji analisis performansi menggunakan parameter evaluasi kinerja *Quality of Services* (QoS), efisiensi energi, dan *fairness index*. Hasil dari penelitian menunjukan bahwa masing-masing masing-masing performansi protokol memiliki keunggulan yang berbeda tergantung pada penggunaannya. Penggunaan protokol IEEE 802.15.4 dengan GTS *on* lebih baik untuk sensor dengan *data rate* rendah (< 5 Kbps), di mana peningkatan *Throughput* rata-rata sebesar 36,5% dan efisien energi 30%. Sedangkan GTS *off* memiliki keunggulan *packet loss* yang lebih kecil pada jumlah *node* < 6, *latency* yang lebih cepat, serta *fairness index* mendekati 1. Pada sensor dengan *data rate* tinggi (> 5 Kbps), protokol IEEE 802.15.6 lebih baik karena memiliki saturasi *data rate* yang tinggi dengan peningkatan *throughput* rata-rata sebesar 78,5%, latency yang lebih cepat, *packet loss* lebih kecil, efisiensi energi sebesar 75%, dan *fairness index* mendekati 1.

**Kata kunci :** WBAN; MAC; IEEE 802.15.4; IEEE 802.15.6; GTS*; Polling.*

**Abstract**

Wireless Body Area Network (WBAN) is a subclass of Wireless Sensor Networks (WSN) where WSN uses IEEE 802.15.4-based protocols. The protocol used in the WBAN is IEEE 802.15.6 where the protocol is the development of the IEEE 802.15.4 protocol. WBAN is a health monitoring sensor network with limited resources, so we need an energy efficiency to keep the WBAN network working for a very long time. The Medium Access Control (MAC) protocol can help in achieving a reliable and energy efficient WBAN. The study was conducted by comparing the performance of dynamic scheduling on the protocol used in scheduling research on WBAN is IEEE 802.15.4 and IEEE 802.15.6 through two scenarios. Scenario I tests the GTS on and off method. Scenario II is done testing the best method from scenario I with the Polling method. The IEEE 802.15.4 protocol uses the Guaranteed Time Slot (GTS) off method with Carrier Sense Multiple Access-Collision Avoidance (CSMA-CA) for regular data transmission and GTS on with Time Division Multiple Access (TDMA) for sending priority data. The latest method used by the IEEE 802.15.6 protocol has a Polling system for sending data. Performance analysis test uses the Quality of Services (QoS) performance evaluation parameters, energy efficiency, and fairness index. The results of the study show that each protocol performance has different advantages depending on its use. The use of the IEEE 802.15.4 protocol with GTS on is better for sensors with low data rates (<5 Kbps), where the average throughput increases by 36.5% and 30% energy efficient. Whereas GTS off has the advantage of smaller packet loss at the number of nodes <6, faster latency, and fairness index approaching 1. In sensors with high data rates (> 5 Kbps), the IEEE 802.15.6 protocol is better because it has data saturation a high rate with an increase in average throughput of 78.5%, faster latency, smaller packet loss, energy efficiency by 75%, and a fairness index close to 1.

**Keywords:** WBAN; MAC; IEEE 802.15.4; IEEE 802.15.6; GTS; Polling.

## 1. Pendahuluan

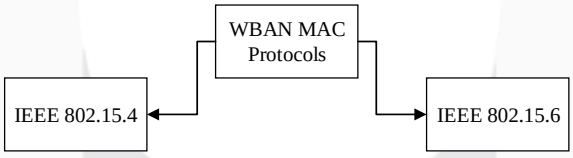
Perkembangan teknologi informasi sudah berkembang dengan pesat pada saat ini, berbagai teknologi telah dikembangkan salah satunya dalam bidang kesehatan. Sistem kesehatan yang sedang dikembangkan adalah sistem

pemantauan yang dapat dipakai untuk mendeteksi secara dini kondisi abnormal pada seseseorang sehingga dihasilkan data yang berguna untuk peningkatan kualitas hidup manusia. Manfaat lain yang didapat dalam pemantauan kesehatan tubuh manusia adalah dapat mengurangi biaya perawatan kesehatan di rumah sakit yang mahal karena dapat mengetahui kondisi tubuh sejak dini. Hal ini dapat dicapai dengan jaringan yang terdiri dari sensor dan aktuator cerdas, berdaya rendah, mikro dan nano-teknologi, yang dapat ditempatkan pada tubuh, atau ditanamkan di tubuh manusia, jaringan seperti ini biasanya disebut sebagai *Wireless Body Area Network* (WBAN) [1]. WBAN adalah jaringan sensor dengan sumber daya terbatas yang dapat menangkap informasi fisiologis tubuh dan mengirimkannya secara nirkabel ke pusat pengolahan data, memberikan jalan menuju ke sistem e-kesehatan masa depan. WBAN menggantikan peralatan perawatan kesehatan yang rumit dan berkabel untuk melakukan pemantauan terus-menerus terhadap informasi penting tanpa membatasi gerakan pengguna [2]. Kinerja jaringan WBAN terutama ditentukan oleh beberapa faktor termasuk *lifetime*, konsumsi energi, dan *throughput*. Terlepas dari kapasitas baterai, masalah yang dapat menyebabkan *lifetime* WBAN menjadi singkat adalah transmisi data, tingkat penerimaan data, tingkat hilangnya data. Perangkat jaringan mengkonsumsi energi pada saat mereka menerima atau mengirimkan data pada bagian radionya sehingga menyebabkan masa pakai baterai menjadi cepat [3]. Perangkat di WBAN umumnya merupakan perangkat bertenaga baterai sebagai sumber daya utama sehingga menyebabkan efisiensi energi adalah masalah yang serius. Selain mendesain *transceiver* radio dengan daya sangat rendah, protokol WBAN harus dapat meminimalkan daya tanpa mengorbankan kehandalannya. Teknik umum yang memungkinkan perangkat untuk dilakukan adalah pengaturan jadwal kerja pada layer MAC untuk meminimalkan konsumsi daya yang diperlukan [2]. Pada penelitian sebelumnya dilakukan performansi QoS pada variasi *packet rate* dan *data payload*, penelitian tersebut tersebut memberikan hasil bahwa kinerja standar IEEE 802.15.4 mampu mencapai komunikasi yang lebih andal dalam kondisi tingkat lalu lintas rendah, sementara standar IEEE 802.15.6 menunjukkan kinerja yang lebih dalam kondisi tinggi [6]. Namun masih menggunakan jumlah sensor yang sama dan metode penjadwalan standar, serta belum membahas efisiensi energi dan tingkat keadilan jaringan. Oleh karena itu, Tugas Akhir ini memberikan perbandingan performansi QoS, Efisiensi Energi, dan Fairness Index WBAN menggunakan variasi jumlah sensor dan *packet rate* pada *layer Medium Access Control* (MAC). Pengujian *layer* MAC menggunakan protokol IEEE 802.15.4 dengan metode *Guaranteed Time Slot (GTS) off*, dan *on*, serta protokol IEEE 802.15.6 dengan metode *Polling*. Keluaran penelitian untuk melihat performansi protokol penjadwalan mana yang paling tepat dalam pengguanaan jaringan sensor medis dalam waktu yang lama.

## 2. Dasar Teori

### 2.1 WBAN

*Wireless Body Area Network (WBAN)* merupakan subkelas dari *Wireless Sensor Networks* (WSN). Gambar 2.1 ditunjukan protokol yang digunakan dalam WBAN adalah IEEE 802.15.6 di mana protokol tersebut merupakan pengembangan dari protokol IEEE 802.15.4. WBAN adalah suatu jaringan sensor nirkabel yang dapat dikenakan. Perangkat tersebut dapat disematkan di dalam tubuh maupun di permukaan tubuh. Sistem WBAN merupakan suatu sistem terpadu yang terdiri atas sekelompok *node* sensor yang terhubung secara nirkabel pada suatu topologi jaringan [1]. Setiap pengguna memakai sejumlah *node* sensor yang ditempatkan pada tubuhnya. Fungsi utama dari *node* sensor tersebut adalah untuk diambil sempel data tanda-tanda vital dan mentransfer data tersebut ke server melalui jaringan nirkabel. WBAN dapat menangkap informasi fisiologis tubuh dan dikirimkan secara nirkabel ke pusat pengolahan data. Penggantian peralatan perawatan kesehatan yang rumit dan berkabel oleh WBAN untuk melakukan pemantauan terus menerus terhadap informasi penting tanpa membatasi gerakan pengguna [2].



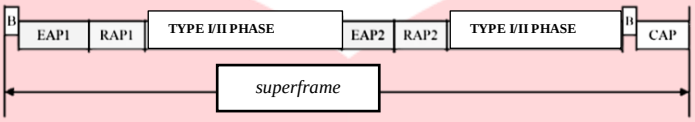

**Gambar 2.1** Protokol Penjadwalan *layer* MAC pada WBAN

### 2.2 IEEE 802.15.6 MAC

IEEE 802.15.6 adalah standar untuk menangani teknologi nirkabel khususnya penggunaan daya rendah, kompleksitas perangkat yang lebih rendah, tingkat transfer data yang lebih tinggi, jangkauan komunikasi pendek dan keamanan [15]. Protokol ini juga mendefinisikan spesifikasi *layer* MAC di mana *layer* ini memfasilitasi operasi kontrol seluruh sistem. komunikasi *node* diatur kedalam logika yang dikontrol oleh *collective hub*. Hub tersebut bertanggung jawab untuk pengkoordinasian akses saluran dengan menetapkan tiga mode akses berikut:

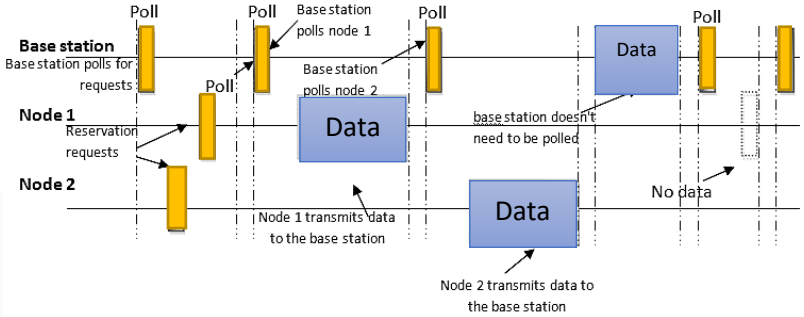
- Mode *beacon* dengan periode batas-batas *superframe*. Gambar 2.2 menunjukkan struktur *superframe* IEEE 802.15.6, yang dibagi menjadi *Exclusive Access Phase* 1 (EAP1), *Random Access Phase* 1 (RAP1), fase Tipe I / II, *Exclusive Access Phase* 2 (EAP 2), *Random Access Phase* 2 (RAP2), Tipe I / II, dan *Contention Access Phase* (CAP). Polling digunakan untuk alokasi sumber daya. Bergantung pada persyaratan aplikasi, koordinator dapat menonaktifkan periode-periode ini dengan menetapkan panjang durasi ke nol.

- mode *non-beacon* dengan batas-batas *superframe*, Dalam mode ini, seluruh durasi *superframe* meliputi tipe I atau fase akses tipe II tetapi tidak oleh kedua fase seperti pada Gambar 2.2.
- mode *non-beacon* tanpa batas-batas *superframe* yang menggunakan metode akses *Polling* yang tidak terjadwal [5].




**Gambar 2.2** Struktur *Superframe* IEEE 802.15.6 MAC [4]

Gambar 2.3 menunjukan proses *Polling* yang dimulai dengan *node* terhubung ke hub. Hub mengirimkan paket *Polling* ke *node* yang sedang *Polling*. *Node* yang menerima paket *Polling* mengirimkan paket data yang disimpan dalam *buffer*-nya. Ketika transmisi data selesai, *node* yang disurvei mengirimkan paket *Polling* selesai ke hub. Hub saat menerima paket mulai *Polling node* berturut-turut berikutnya dalam siklus dan proses diulang. Jika tidak ada paket yang ada dalam *buffer node*, hub segera mengubah *Polling* ke *node* berikutnya. *Base station* mempertahankan total kontrol atas saluran, tetapi konten *frame* dapat tidak tetap, memungkinkan paket ukuran variabel untuk dapat dikirim. *Base station* mengirimkan paket tertentu (*packet Polling*) untuk memicu transmisi oleh *node*. Yang terakhir hanya menunggu untuk menerima *packet Polling*, dan setelah penerima mengirimkan apa yang harus ditransmisikan [15].




**Gambar 2.3** IEEE 802.15.6 MAC *Polling Process* [3]

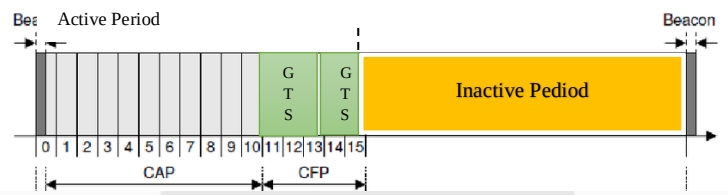
## 2.3 IEEE 802.15.4 MAC

IEEE 802.15.4 didefinisikam untuk perangkat dengan operasi jarak pendek dan konsumsi energi yang rendah [15]. Protokol ini menggunakan dua jenis mekanisme akses saluran, tergantung pada konfigurasi jaringan:

- *Non-beacon-enabled PANs* menggunakan mekanisme akses saluran CSMA-CA *(Carrier-sense multiple access with collision avoidance)* yang tidak memiliki slot.
- *Beacon-enabled PANs* menggunakan mekanisme *Guaranteed Time Slot (GTS).* GTS memungkinkan perangkat mengakses media tanpa bentrokan untuk *node* yang membutuhkan *bandwidth* lebih berdasarkan struktur *superframe*. Seperti pada Gambar 2.4 di mana *superframe* didefinisikan antara dua *frame beacon* dan memiliki periode aktif dan non-aktif.

Bagian aktif dari struktur *superframe* terdiri dari tiga bagian:

- *Beacon (BCN). Beacon Frame* ditransmisikan pada awal slot 0. Ini berisi informasi pada kolom pengalamatan, spesifikasi *superframe* bidang GTS.
- *Contention Access Period (CAP).* CAP segera dimulai setelah *beacon frame* dan berakhir sebelum awal CFP. Semua transmisi selama CAP menggunakan mekanisme *Slotted* CSMA-CA. namun, *acknowledgement frames* dan data lainnya segera mengikuti *achknowledgement* dari perintah permintaan data yang di transmisikan tanpa *contention.*
- *Contention Free Period* (CFP). CFP segera dimulai setelah akhir CAP dan harus selesai sebelum dimulainya *beacon* berikutnya atau akhir dari *superframe.*

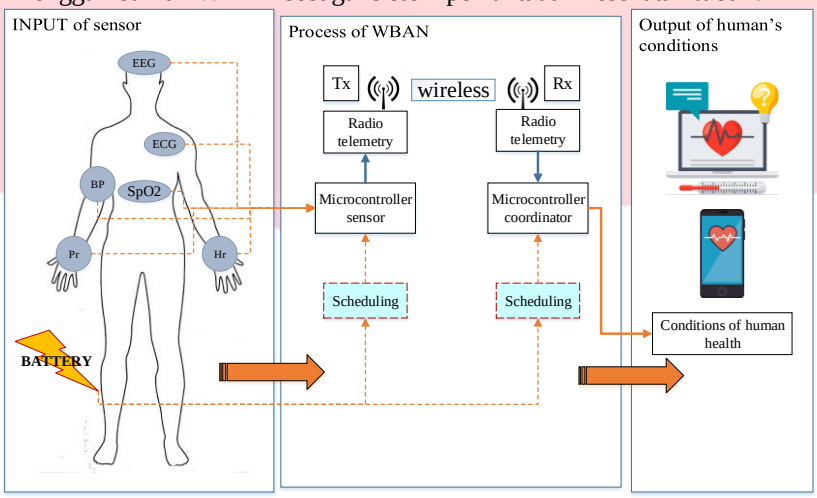



**Gambar 2.4** Struktur *Superframe* IEEE 802.15.4 MAC [4]

## 3. Pembahasan

### 3.1. Desain Sistem

Gambar 3.1 menggambarkan WBAN sebagai sistem pemantauan kesehatan tubuh.

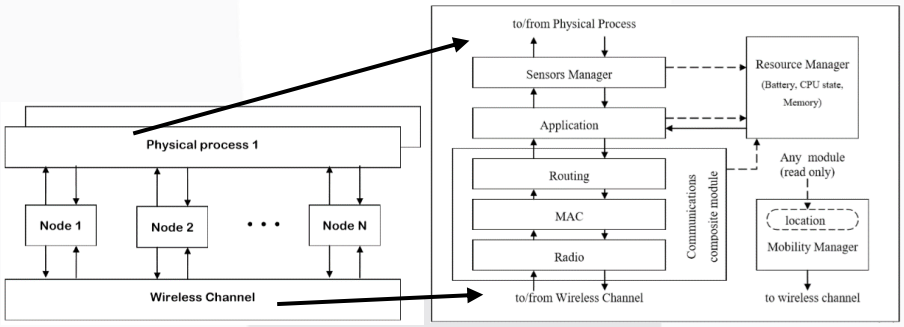



**Gambar 3.1** Diagram Alir Pengerjaan

Gambar diatas dimulai dari masukan pembacaan sensor berdasarkan kondisi tubuh manusia saat itu. Semua data pembacaan sensor tersebut dikontrol oleh microcontroller untuk dilakukan proses pengiriman dalam bentuk paket kedalam perangkat radio telemetri. Radio telemetri mengirimkan paket datanya melalui jaringan nirkabel kepada penerimanya disisi koordinator. Paket data yang diterima oleh radio koordinator lalu diproses oleh microcontroller koordinator untuk dapat melihat hasil keluaran berupa kondisi tubuh seseorang yang mudah dipahami sehingga dapat digunakan untuk mengecek kesehatan seseorang yang menggunakan jaringan WBAN tersebut. Selain terdapat masukan dari sensor, usia hidup jaringan WBAN juga dipengaruhi oleh konsumsi energi. WBAN menggunakan teknik penjadwalan dinamis untuk mengurangi pemakaian energi supaya usia hidup jaringan menjadi lebih lama dan tidak perlu sering mengganti baterai untuk dapat melakukan pemantauan kesehatan tubuh pada diri penggunanya

### 3.2 Blok sistem

Pengujian ini menggunakan struktur Castalia untuk menganalisis kinerja protokol WBAN. Castalia menggunakan OMNet++ di mana terdapat tiga bagian utama yaitu *node, physical process, wireless channel* yang ditunjukan pada Gambar 3.2.




**Gambar 3.2** Blok Sistem Castalia [5]

Bagian *node* terdiri dari beberapa subsistem yaitu sensor manager, aplikasi, routing, mac, dan radio. Modul sensor manager melakukan pengambilan data terhadap *physical process* yang disimulasikan oleh modul *physical process.* Data yang diambil lalu diproses lewat modul *application layer* menghasilkan paket data yang dikirimkan. Pada modul *routing,* dilakukan pencarian jalur pada paket apakah untuk koordinator atau *node.* Modul MAC memiliki fungsi untuk mengatur akses kanal dan proses pengiriman paket melalui modul *wireless channel*. Modul MAC inilah yang dianalisis berupa performansi jaringannya dan konsumsi energinya. Pemodelan pathloss dan noise dilakukan oleh modul *wireless channel* [5].

### 3.4 Skenario 1

Skenario ini memberikan gambaran berupa perbandingan performansi antara dua metode yang terdapat dalam protokol IEEE 802.15.4 yaitu GTS *on* dan GTS *off*. GTS itu sendiri adalah mekanisme alokasi slot khusus

untuk pengiriman data prioritas dengan prinsip CFP. Pada skenario ini, GTS yang digunakan adalah 3 slot untuk tiap *node*.

### 3.5 Skenario II

Skenario ini memberikan gambaran berupa perbandingan performansi antara dua protokol yaitu protokol IEEE 802.15.4 hasil terbaik pada simulasi sebelumnya dengan protokol IEEE 802.15.6 di mana tetap digunakan parameter performansi yang sama, namun berbeda dalam penggunaan nilai trafik yang lebih tinggi dibanding sebelumnya untuk melihat parameter performansi yang didapat.

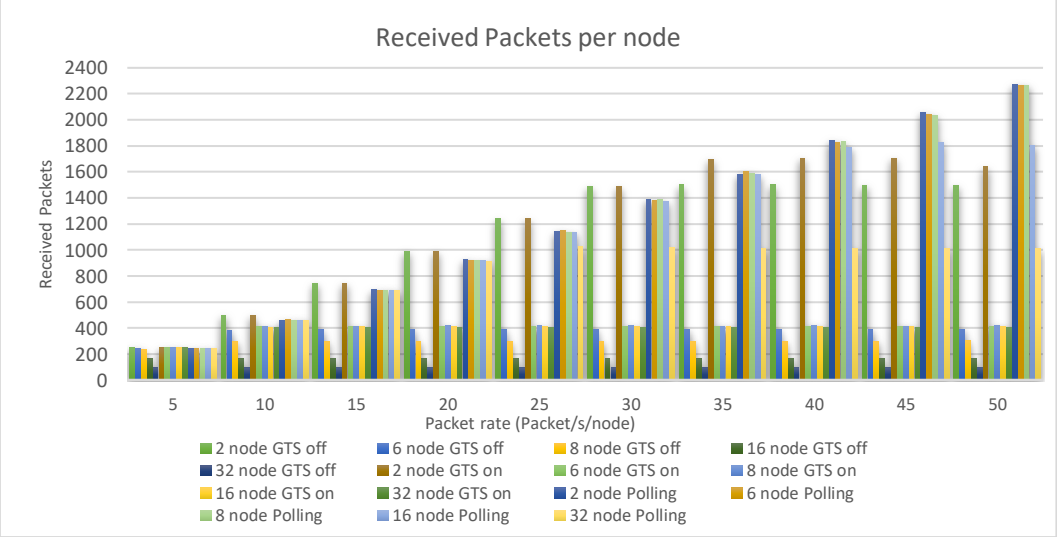
### 3.3. Parameter Performansi Sistem

Parameter yang di uji pada penelitian ini adalah *Throughput, Packet Loss Ratio, Latency*, konsumsi energi, serta *fairness index.*

## 4. Hasil dan Analisis

### 4.1 *Throughput*

Hasil simulasi saturasi *throughput* dapat dilihat pada Gambar 4.1 dengan nilai jumlah paket yang diterima dan saturasi *packet rate*. *Data rate* didapat dengan dikalikan *packet rate* dengan ukuran paket di mana tiap paket berukuran seratus byte. Simulasi *throughput* dilakukan pada variasi jumlah *node* berbeda dengan waktu simulasi lima puluh detik.




**Gambar 4.1** *Throughput* Metode

Gambar 4.1 merupakan grafik berdasarkan plot jumlah *node* dan *received packet per node* untuk variasi *data rate* dalam pengirim. Pada simulasi ini digunakan topologi bintang di mana menunjukan semakin banyak jumlah *node* dalam WBAN dan semakin tinggi *data rate*, maka semakin berkurang *throughput* yang dapat dicapai per *node*. Grafik ini memberikan keluaran saturasi *packet rate* pengirim yang didefinisikan sebagai batas maksimal *data rate* sensor yang dapat dipakai di setiap jumlah *node* tertentu. Analisis hasil menunjukan bahwa *throughput* akan meningkat secara linear dengan *data rate* pengirim sampai ke titik saturasi dan mencapai *throughput* secara konstan. Untuk melihat hasil simulasi *throughput* disajikan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Hasil Simulasi Saturasi *Throughput* tiap Jumlah *Node*

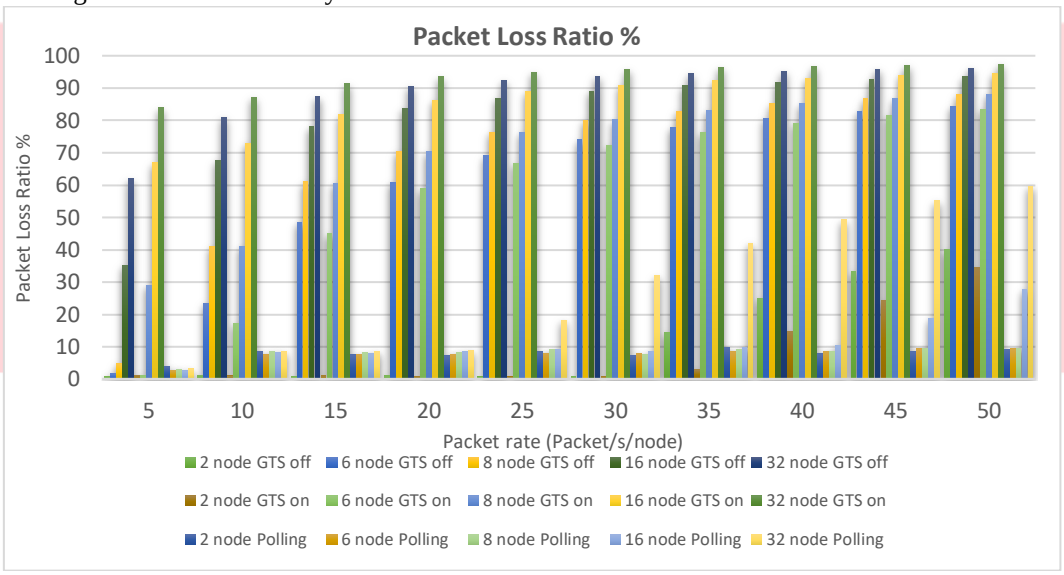
| Jumlah *node* (tanpa *node* 0) | Saturasi jumlah paket diterima | | | *Packet rate* pengirim | | | *Throughput* (Kbps) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | GTS *off* | GTS *on* | *Polling* | GTS *off* | GTS *on* | *Polling* | GTS *off* | GTS *on* | *Polling* |
| 1 | 1500 | 1700 | 7897 | 30 | 35 | 200 | 24,00 | 27,20 | 126,35 |
| 5 | 388 | 414 | 3866 | 10 | 10 | 100 | 6,21 | 6,62 | 61,86 |
| 7 | 298 | 415 | 3113 | 10 | 10 | 100 | 4,77 | 6,64 | 49,81 |
| 15 | 164 | 410 | 1825 | 5 | 10 | 45 | 2,62 | 6,56 | 29,20 |
| 31 | 96 | 404 | 1023 | 5 | 10 | 25 | 1,54 | 6,46 | 16,37 |

Hasil pada Tabel 4.1 ditunjukan bahwa *throughput* pada IEEE.802.15.4 GTS *on* memiliki peningkatan rata-rata sebesar 36,5% dibanding dengan GTS *off*. Sedangkan pada IEEE 802.15.6 *Polling* bahwa terjadi peningkatan *throughput* rata-rata mencapai 78,5% dibanding dengan IEEE 802.15.4 GTS *on*.

### 4.2 *Packet Loss Ratio*

Dalam hal *packet loss ratio* dan *packet delivery ratio* pada Gambar 4.2, metode GTS *on* memiliki *packet loss* yang cenderung lebih besar pada jumlah *node* lebih dari enam dikarenakan koordinator hanya dapat diakomodasi sejumlah lima *node* karena *superframe* tidak dapat diakomodasi lebih dari 15 slot di mana permintaan paket GTS sejumlah tiga slot untuk tiap *node* sehingga hanya mampu untuk lima *node* saja. Jadi dalam hal *packet loss ratio*, GTS *off* lebih baik dibanding GTS *on*. Sedangkan pada IEEE 802.15.6 memiliki hasil yang lebih buruk

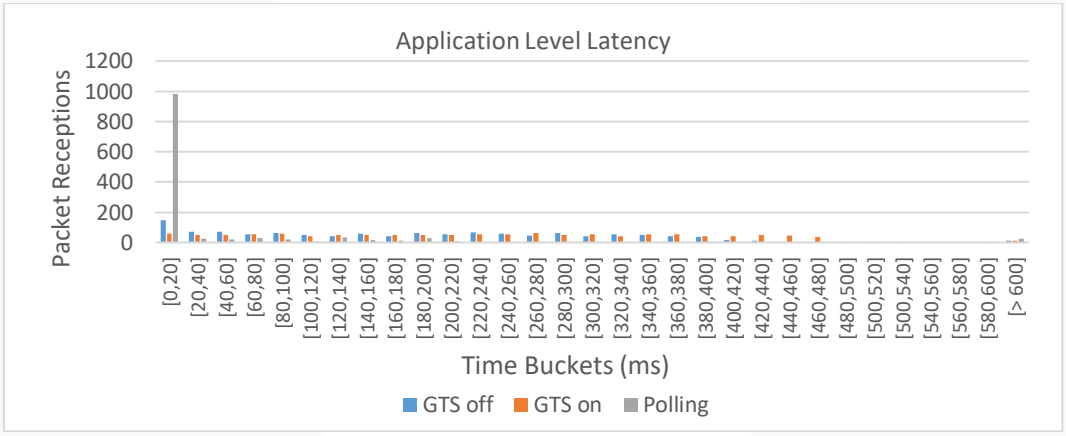
dibanding dua metode sebelumnya pada *data rate* rendah. Namun pada *data rate* tinggi, memiliki hasil yang sangat baik dibanding kedua *node* sebelumnya




**Gambar 4.2** *Packet Loss Ratio*

### 4.3 *Aplication Level Latency*

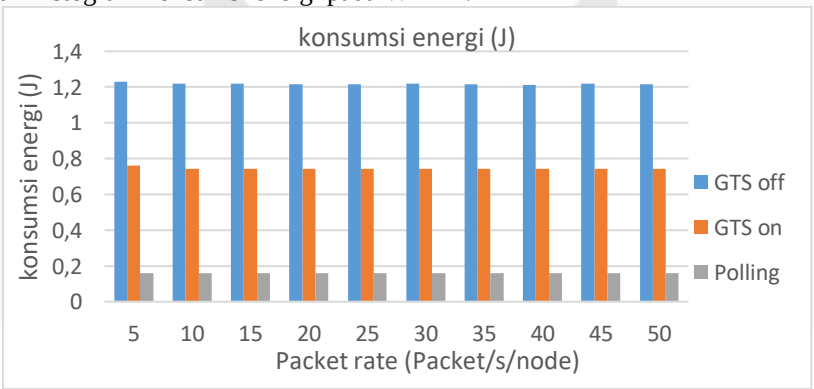
Dalam *Latency*, *Polling* pada IEEE 802.15.6 memiliki hasil yang sangat baik dibanding pada IEEE 802.15.4. sedangkan metode pada IEEE 802.15.4, GTS *off* memiliki hasil yang lebih baik dibanding GTS *on*. Hasil *Latency* digambarkan dalam *Aplication Level Latency* berupa *time bucket* waktu penerimaan paket seperti Gambar 4.3 dibawah ini.




**Gambar 4.3** *Aplications Level Latency*

### 4.4 Konsumsi Energi

Pada penentuan energi, IEEE 802.15.4 digunakan konfigurasi radio CC2420 sedangkan BANradio digunakan oleh IEEE 802.15.6 di mana pada simulasi ini digunakan *power transmitter* sebesar -10 dBm dan penggunaan sampel pada jumlah 6 *node* dengan *data rate* pengirim 5 Kbps bagi kedua metode tersebut. Gambar 4.4 mengilustrasikan histogram konsumsi energi pada WBAN.




**Gambar 4.4** Konsumsi Energi

Analisis hasil diatas menunjukan bahwa ketika GTS diaktifkan, rata-rata konsumsi energi tidak melebihi 0,8 J. namun saat GTS *off*, rata-rata konsumsi energinya lebih tinggi dan dapat mencapai 1,2 J maka dapat

disimpulkan bahwa dengan mengaktifkan GTS akan lebih efisien sebesar 30%. hal ini disebabkan karena berkurangnya kerja *node* dalam melakukan CSMA/CA akibat total jumlah slot dikurangi dengan jumlah GTS yang diminta. Pada IEEE 802.15.6, konsumsi energinya lebih rendah dan hanya mencapai 0,158 J hasil ini cenderung konstan bagi kedua protokol tersebut. Hasil ini menunjukan bahwa konsumsi energi pada simulasi ini tidak secara langsung bergantung pada transmisi, namun bergantung pada kondisi radio yang dipakai sehingga IEEE 802.15.6 memiliki efisiensi 75% dari protokol sebelumnya.

**Tabel 4.2** Hasil Konsumsi Energi per *Node* (J)

| Performansi / metode | QoS | | | Konsumsi Energi | *Fairness index* |
|---|---|---|---|---|---|
| | *Throughput* | *Packet loss* | *Applications level Latency* | | |
| GTS *off* | Rendah | Sedang | Sedang | Tinggi | Tinggi |
| GTS *on* | Sedang | Tinggi | Rendah | Sedang | Rendah |
| *Polling* | Tinggi | Rendah | Tinggi | Rendah | Tinggi |

Dapat dilihat pada Tabel 4.2 bahwa konsumsi energi pada IEEE 802.15.6 *Polling* lebih rendah dan cenderung konstan. Pada *node* koordinator atau hub memiliki nilai konsumsi energi yang sama dengan *node* lainnya dikarenakan sistem kerja *Polling* yang menyebabkan semua *node* ikut aktif dalam penentuan penjadwalan pengiriman di mana dikirimkan paket *Polling* ke *node* lain oleh hub. *Node* yang menerima paket *Polling* akan mengirimkan paket yang disimpan pada *buffer* kemudian mentransmisikan bahwa data telah selesai dikirim kepada hub. Setelah itu hub kembali mengirimkan paket *Polling* berikutnya kepada *node* lain dan seterusnya. Hal inilah yang menyebabkan konsumsi energi hub sama dengan konsumsi energi *node* lainnya. Berbeda dengan IEEE 802.15.4 GTS bahwa konsumsi energi pada *node* 0 lebih besar dari *node* lainnya karena *node* 0 merupakan *node* koordinator sehingga dikonsumsi energi lebih besar dibanding *node* lainnya karena harus selalu aktif, sedangkan untuk *node* lainnya dapat memasuki mode *inactive* jika telah selesai mengirimkan datanya. Berdasarkan hasil pada Tabel 4.2, disimpulkan bahwa dalam hal konsumsi energi IEEE 802.15.6 merupakan pilihan terbaik karena penggunaan daya yang rendah sehingga sesuai dengan kebutuhan WBAN. Dalam lifetime jaringan didapatkan bahwa hanya dengan penggunaan dua baterai AA pada IEEE 802.15.6, jaringan dapat hidup selama 70 hari dibandingkan pada IEEE 802.15.4 GTS yang hanya dapat hidup selama 3,5 hari.

### 4.4 *Fairness Index*

Pada simulasi *fairness index* dapat dilihat pada Tabel 4.3 dengan skala nol sampai satu dalam peningkatan jumlah *node*. Hasil *fairness index* dilihat dengan banyaknya jumlah koneksi dalam hal ini adalah jumlah *node* selain *node* 0 kepada *node* koordinator dalam hal ini adalah *node* 0. dilihat dari perbandingan *throughput* ideal dengan *throughput* hasil simulasi masing-masing *node*. Dalam perhitungan ini, digunakan sampel *throughput* ideal berdasarkan *data rate* pengirim yaitu 5 Kbps dibandingkan dengan *throughput* yang dihasilkan masing-masing *node*. Jika hasil semakin mendekati nol maka tingkat keadilan jaringan adalah buruk, namun jika mendekati satu maka tingkat keadilan jaringan tiap *node* adalah baik.

**Tabel 4.3** *Fairness Index* per Jumlah *Node*

| ∑*node* / *metode* | 1 | 5 | 7 | 15 | 31 |
|---|---|---|---|---|---|
| GTS *off* | 1 | 0,999854 | 0,999758 | 0,995614 | 0,989619 |
| GTS *on* | 1 | 0,999943 | 0,714278 | 0,533317 | 0,129032 |
| *Polling* | 1 | 0,999438 | 0,999758 | 0,999625 | 0,999685 |

Dalam hal *fairness index* dengan melihat penambahan jumlah akses/*node* pada metode GTS *on* memiliki hasil yang kurang baik karena tidak dapat diakomodasi jumlah *node* lebih dari lima, sedangkan pada GTS *off* memiliki hasil yang baik ditiap penambahan jumlah *node*. Hal tersebut karena penggunaan CSMA/CA yang dapat diakomodasi semua jumlah *node*. Pada IEEE 802.15.6 memiliki hasil yang baik karena menggunakan metode *Polling* yang menyebabkan semua node dapat diakomodasi dalam pengiriman datanya.

### 4.4 Perbandingan Performansi Hasil Pengujian

Berikut ini disajikan perbandingan performansi hasil pengukuran terhadap parameter simulasi. Parameter simulasi yang digunakan adalah variasi jumlah *node* dan nilai trafik *node* berupa *packet rate*. Perbandingan performansi yang dilakukan adalah *throughput*, *packet los*s, Latency, konsumsi energi, dan *fairness index*. Tabel 4.7 menunjukan perbandingan tiap metode dengan hasil performansi.

**Tabel 4.4** Perbandingan Hasil Performansi

| Performansi / metode | *Throughput* | *Packet loss* | Konsumsi Energi | *Fairness index* | *Applications level Latency* |
|---|---|---|---|---|---|
| GTS *off* | Rendah | Sedang | Tinggi | Tinggi | Sedang |
| GTS *on* | Sedang | Tinggi | Sedang | Rendah | Rendah |
| *Polling* | Tinggi | Rendah | Rendah | Tinggi | Tinggi |

**5. Kesimpulan**

Dari hasil pengukuran dan simulasi yang telah dilakukan dan dianalisis sehingga dapat disimpulkan bahwa:

1. Sehubungan dengan penggunaan medis, hasil dari penelitian menunjukan bahwa masing-masing masing-masing performansi protokol memiliki keunggulan yang berbeda tergantung pada penggunaannya. Penggunaan protokol IEEE 802.15.4 dengan GTS *on* lebih baik untuk sensor dengan *data rate* rendah (< 5 Kbps), di mana peningkatan *Throughput* rata-rata sebesar 36,5% dan efisien energi 30%. Sedangkan GTS *off* memiliki keunggulan *packet loss* yang lebih kecil pada jumlah *node* < 6, *latency* yang lebih cepat, serta *fairness index* mendekati 1. Pada sensor dengan *data rate* tinggi (> 5 Kbps), protokol IEEE 802.15.6 lebih baik karena memiliki saturasi *data rate* yang tinggi dengan peningkatan *throughput* rata-rata sebesar 78,5%, latency yang lebih cepat, *packet loss* lebih kecil, efisiensi energi sebesar 75%, dan *fairness index* mendekati 1.

**Daftar Pustaka:**


[1] S. Movassaghi, M. Abolhasan, J. Lipman, D. Smith and A. Jamalipour, "Wireless Body Area Networks: A Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials, VOL. 16, NO. 3,* p. 1, 2014.

[2] M. Salayma, A. Al-Dubai , I. Romdhani And Y. Nasser, "Wireless Body Area Network (WBAN): A survey on reliability, fault tolerance, and technologies coexistence," *ACM Computing Surveys ,* 2016.

[3] C. A. Zaouiat And A. Latif , "Performances Comparison of IEEE 802.15.6 and IEEE 802.15.4," *(IJACSA) International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 8, No. 11,* pp. 461-462, 2017.

[4] K. S. Kwak, S. Ullah and N. Ullah , "An Overview of IEEE 802.15.6 Standard," *Conference Paper ,* 2010.

[5] A. Boulis, Castalia, Australia: NICTA, 2011.

[6] I. S. 802.15.4-2006, "Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)," *IEEE Std 802.15.4-200,* pp. 14-23, 2006.

[7] Rudiyanto, Analisa Pengaruh Nilai Superframe Order Dan Beacon Order Terhadap Kinerja Jaringan Nirkabel Multihop Pada Protocol Ieee 802.15.4, Depok: Universitas Indonesia, 2012.

[8] W. C. Dah-Ming, K. J. Rajendra and R. H. William, "A Quantitative Measure of Fairness and Discrimination for resource allocation in Shared System, Digital Equipment Corporation," *Technical Report DEC-TR-301,* 1984.

[9] J. Arifin and H. A. Nugroho, "Identifikasi dan Klasifikasi Pola Sinyal EKG Berdasarkan Sifat Keacakan (Entropy)," *CITEE,* vol. 5, 2013.

[10] Y. Akbar, "Pola Gelombang Otak Abnormal Pada Elektroenchephalograph," *ITB,* 2014.

[11] H. Chiropractic, "Resting Pulse Rate Analysis for an Individual Undergoing Diferent Types of Exercise: a case study in Methodology," *Biology of Exercise,* vol. 14.1, 2018.

[12] R. Ristanto, "Hubungan Respiratory Rate (RR) dan Oxygen Saturation (SpO2) Pada Klien Cedera Kepala," *Poltekkes RS dr. Soepraoen Malang,* 2017.

[13] J. S. Williams and S. Brown, "Videos in Clinical Medicine Blood Pressure Measurement," *NIH Public Access,* 2010.

[14] A. N. Harahap and B. Perangin-angin, "Sistem Pengukuran Detak Jantung Manusia Menggunakan Media Online dengan Jaringan WI-FI Berbasis PC," *JSF,* vol. 4, 2013.

[15] r. wulandari, "Analisis Qos (Quality Of Service)," *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi,* vol. 2, 2016.

[16] k. G. Mkongwa, Q. Liu, C. Zhang and F. A. Siddiqui, "Reliability and Quality of Service Issues in Wireless Body Area Networks: A Survey," *International Journal of Signal Processing Systems* , vol. 7, no. Energy Efficiency, 2019.

[17] X. Lai, Q. Liu, X. Wei, W. Wang, G. Zhou and G. Han, "A Survey of Body Sensor Network," *Sensors,* 2013.

[18] R. Gupta, G. Pradhan and S. Biswas, "Polling vs No Polling: QoS driven performance analysis of IEEE 802.15.6 for varying data rate in WBAN," *Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS),* 2017.

[19] A. Nabila and E. B. Mohamed, "A QoS based comparative analysis of the IEEE standards 802.15.4 & 802.15.6 in WBAN-based healthcare monitoring systems," *Wireless Technologies, Embedded and Intelligent Systems (WITS),* 2019.