

ANALISIS UNJUK KERJA PENJADWALAN TERDISTRIBUSI *SPATIAL TIME* *DIVISION MULTIPLE ACCESS* PADA *WIRELESS MESH NETWORK*

Maulida Fitriani, Nachwan Mufti, ST., MT.², Tody Ariefianto, ST., MT.³
^{1,2,3}Fakultas Elektro dan Komunikasi Institut Teknologi Telkom, Bandung
¹maulida.fitriani@gmail.com, ²nmaf@ittelkom.ac.id, ³tawy@ittelkom.ac.id

Abstrak

Pada WMN, scheduling adalah salah satu aspek yang paling penting yang akan berdampak pada performansi sistem. Terdapat dua mekanisme scheduling, yakni centralized scheduling dan distributed scheduling. Penjadwalan distributed terbagi menjadi 2 yaitu coordinated distributed dan uncoordinated distributed. Tugas akhir ini menyajikan unjuk kerja algoritma skema dasar yang merupakan algoritma untuk coordinated distributed scheduling. Penggunaan STDMA merupakan solusi dari terbatasnya jumlah slot untuk pengalokasian node.

Skema perancangan sistem dalam Tugas Akhir ini dimulai dengan pembangkitan node secara acak. Node yang dibangkitkan ini memiliki letak yang dibuat random setiap kali pembangkitan. Kemudian pada node yang dibangkitkan tersebut akan dihitung jarak dari masing-masing node. Setelah itu akan dilakukan penghitungan SNR dari masing-masing node yang telah dibangkitkan. Dari nilai SNR tersebut, akan dipilih modulasi yang akan digunakan untuk masing-masing node. Setelah memilih modulasi, kemudian setiap node akan dijadwalkan dengan skema dasar. Skema dasar memungkinkan pengalokasian minislot kosong secara terurut. Adapun penggunaan STDMA sendiri memungkinkan setiap slot tersebut dapat ditempati oleh beberapa node. Tahap terakhir adalah dilakukannya penghitungan throughput, dan fairness index dari sistem ini.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai throughput terbesar untuk skenario random modulasi adalah 20,586 kbps (TDMA) dan 24,761 kbps (STDMA). Modulasi paling efektif adalah modulasi BPSK dan 16QAM(3/4) dengan nilai throughput untuk modulasi BPSK adalah 21,00 kbps (STDMA) dan 25,32 kbps (STDMA) untuk modulasi 16QAM(3/4) pada jumlah node 6 hingga 9. Pada kondisi kanal random modulasi, nilai fairness index paling fair didapat pada jumlah node 3. Nilainya adalah sebesar 0,8122(TDMA) dan 0,7199 (STDMA). Pada kondisi kanal yang lain, nilai fairness index paling fair adalah pada saat menggunakan modulasi QPSK(3/4) dengan nilai 0,7562 dengan skema dasar menggunakan TDMA dan 16QAM(3/4) dengan nilai 0,7771 untuk skema dasar menggunakan STDMA. Kedua nilai ini diraih pada saat jumlah node adalah 6.

Kata kunci: Wireless Mesh Network, distributed scheduling, STDMA, skema dasar, skema multigrant, throughput, fairness index

Abstract

In WMN, scheduling is one of the most important aspects that will impact on system performance. There are two scheduling mechanisms, namely centralized scheduling and distributed scheduling. Distributed scheduling is divided into two, distributed coordinated and uncoordinated distributed. This final project presents the performance of the algorithm which is the basic scheme for coordinated distributed scheduling algorithm. STDMA is a solution of the limited number of slots for allocating node.

Schematic design for this final project began with the generation node at random. Node raised this has made random location every generation. Then the node is raised will be calculated distance from each node. After that the calculation will be done SNR of each node that has been raised. Of the value of the SNR, modulation will have to be used for each node. After selecting the modulation, then each node will be scheduled with the basic scheme. The basic scheme allows the allocation of empty minislot sequentially. As for the use of STDMA itself allows each slot can be occupied by multiple nodes. The last stage is done counting throughput, and fairness index of this system.

The simulation results show that the greatest throughput for random modulation scenario is 20.586 kbps (TDMA) and 24.761 kbps (STDMA). The most effective modulation is BPSK modulation and 16QAM (3/4) with a throughput value for BPSK modulation is 21.00 kbps (STDMA) and 25.32 kbps (STDMA) for modulation 16QAM (3/4) on the number of nodes 6 to 9. At the random modulation channel conditions, the fair value of the fairness index obtained at the node number 3. Its value is equal to 0.8122 (TDMA) and 0.7199 (STDMA). On another channel conditions, the fair value of the fairness index is when using QPSK modulation (3/4) with a value of 0.7562 with the basic scheme using TDMA and 16QAM (3/4) with a value of 0.7771 for the basic scheme using STDMA. Both of these values achieved when the node number is 6.

Keywords: Wireless Mesh Network, distributed scheduling, STDMA, skema dasar, skema multigrant, throughput, fairness index

1 Pendahuluan

Standar IEEE 802.16 menetapkan *air interface*, termasuk *physical* dan *media access control (MAC) layer*, untuk jaringan *wireless* pada area metropolitan. Hal ini akan memberikan layanan *fixed broadband wireless access* dengan kualitas servis yang sama dengan jaringan akses kabel seperti *fiber optic* dan kabel *coaxial*, dengan *datarate* up to 70 Mbps. Jaringan IEEE 802.16 terdiri atas *base station (BS)* dan *subscriber station (SS)*. BS bertindak seperti *gateway* antara jaringan IEEE 802.16 dengan jaringan luar. SS merupakan user terminal yang digunakan user untuk mendapatkan

akses ke jaringan. Standar IEEE 802.16 menetapkan dua mode untuk *sharing* medium *wireless*, yakni dengan mode *point-to-multipoint* (PMP) dan mode *mesh*. Mode PMP digunakan untuk komunikasi antara BS dengan SS, sedangkan mode *mesh* digunakan untuk komunikasi antar SS. Pada Tugas Akhir ini akan dibahas mode *mesh* sebagai *wireless mesh network* (WMN).

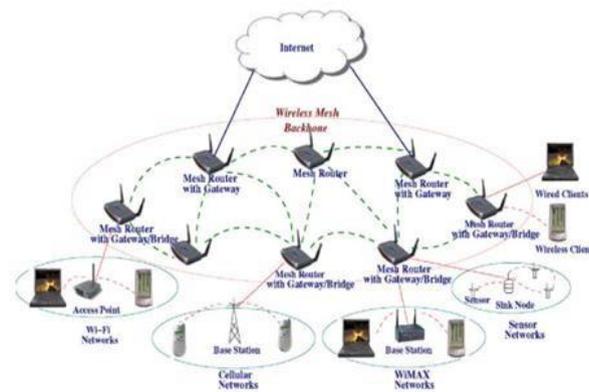
Pada WMN, *scheduling* adalah salah satu aspek yang paling penting yang akan berdampak pada performansi sistem. Terdapat dua mekanisme *scheduling*, yakni *centralized scheduling* dan *distributed scheduling*. *Centralized scheduling* digunakan ketika sebuah *node* dalam WMN ingin berkomunikasi dengan *Access Point* (AP) dan keluar jaringan, contohnya *Internet*. *Distributed scheduling* digunakan untuk komunikasi antar *node* dalam WMN tanpa melibatkan AP. Penjadwalan *distributed* terbagi menjadi 2 yaitu *coordinated distributed* dan *uncoordinated distributed*. Penjadwalan *coordinated distributed* yaitu semua *node* diacak dengan pseudo election random algoritma sehingga pesan antar *node* tidak saling bertabrakan. Sedangkan penjadwalan *uncoordinated distributed* memungkinkan adanya tabrakan pesan antar *node* disebabkan tidak adanya koordinasi dan alokasi minislot berdasarkan peluang akses real time pada saat tertentu. Sumber daya yang digunakan dalam *scheduling* adalah *timeslot* atau *minislot* yang dimiliki oleh setiap *node* yang ada dalam WMN untuk dapat melakukan pertukaran informasi. Standar IEEE 802.16 mengatur adanya pembagian dalam pengalokasian *minislot* pada *data subframe*, sebagian untuk *centralized scheduling* dan sebagian lagi untuk *distributed scheduling*.

WMN berbasis *Spatial Time Division Multiple Access* (STDMA) merupakan salah satu WMN dengan metode *multiple access* yang banyak digunakan di berbagai literatur. STDMA dapat mengalokasikan *minislot* yang sama untuk *link* lain asalkan *link* tersebut memiliki selisih jarak dengan *link* yang telah dialokasikan sebelumnya. Terdapat beberapa algoritma penjadwalan untuk WMN berbasis STDMA. Pada Tugas Akhir ini akan dibahas algoritma penjadwalan dengan skema dasar. Pada skema dasar, pengalokasian *minislot* hanya bias dilakukan pada *minislot* kosong secara terurut. Kemudian akan dilakukan analisis terhadap *throughput*, dan *fairness index* dari algoritma tersebut.

2. Dasar Teori

2.1 Wireless mesh network

Jaringan *wireless* terus berevolusi ke generasi selanjutnya untuk menghasilkan *service* yang lebih baik. *Wireless Mesh Network* (WMN) telah muncul baru-baru ini. Di WMN, setiap *node* terdiri atas *mesh router* dan *mesh client*. Setiap *node* beroperasi tidak hanya sebagai *host*, namun juga sebagai *router* yang meneruskan paket-paket atas nama *node* lain yang mungkin tidak sedang dalam transmisi nirkabel langsung ke tujuan mereka. WMN secara dinamis sudah *self-organized* dan *self-configure* dengan semua *node* di dalam jaringan secara otomatis membangun dan menjaga konektivitas jaringan diantara mereka sendiri. Fitur seperti ini membawa banyak keuntungan untuk WMN, yakni seperti murah di biaya awal, pemeliharaan jaringan yang mudah, ketahanan, dan cakupan layanan yang handal.

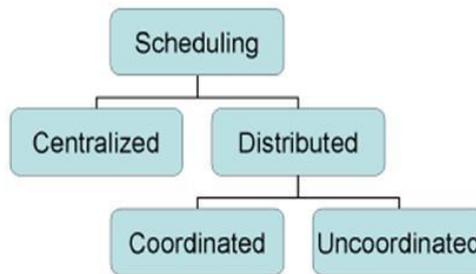


Gambar 1. Arsitektur WMN

2.2 Penjadwalan pada WMN

Scheduling dalam sistem komunikasi adalah pengaturan prioritas aliran data dari satu *node* ke *node* yang lain secara teratur, agar tidak terjadi tabrakan data. Setiap data yang ingin dikirimkan dari suatu *node* ke *node* yang lain akan dijadwalkan oleh mekanisme *scheduling*. WMN memiliki dua macam mekanisme *scheduling*, yaitu *centralized scheduling* dan *distributed scheduling*. *Centralized scheduling* digunakan dalam WMN ketika *node* ingin berinteraksi dengan jaringan diluar WMN melalui AP, contohnya jaringan *Internet*. *Distributed scheduling* adalah mekanisme *scheduling* yang digunakan dalam WMN ketika *node* berinteraksi dengan *node* lain yang masih dalam satu jaringan tanpa melibatkan AP. *Distributed scheduling* sendiri dibedakan menjadi dua, yakni *coordinated distributed scheduling* dan

uncoordinated distributed scheduling. Pada Tugas Akhir ini akan dibahas analisa performansi *coordinated distributed scheduling*.

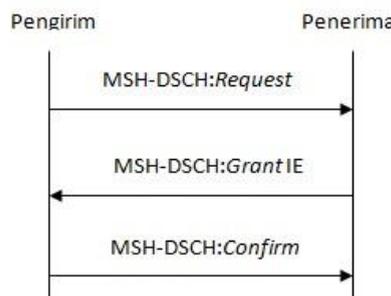


Gambar 2. Penjadwalan pada WMN

2.2.1 Penjadwalan Coordinated Distributed

Pada point ini akan dijelaskan prosedur transmisi data pada IEEE 802.16 mode mesh dengan penjadwalan *coordinated distributed* (C-DSCH). Transmisi data dikoordinasikan ke semua node secara terdistribusi. Sebuah node menggunakan pesan pejadwalan mesh distribured (MSH-DSCH) negosiasi bandwidth dengan prosedur *three way handshake*. Adapun proses three way handshake pada penjadwalan ini adalah sebagai berikut:

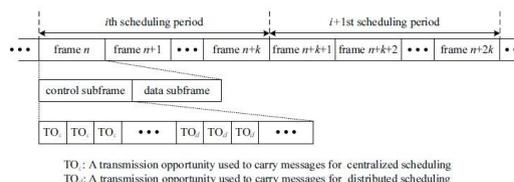
1. node *requester* akan menanyakan ke node tetangganya yang dinamakan *granter* untuk alokasi minislot
2. node *granter* kemudian mengalokasikan sejumlah minislot ke *requester*
3. node *requester* akan konfirmasi penggunaan minislot untuk pengiriman data



Gambar 3. Proses three way handshake

2.2.2 Struktur Frame Wireless Mesh Network

WMN menggunakan *Time Division Multiplexing* (TDM) sebagai *radio access technology* antar *node* dan antara *node* dengan *Access Point* (AP), dimana setiap kanal dibagi ke dalam beberapa *physical slot* (PS) menggunakan *time sharing*. Beberapa PS dikelompokkan ke dalam *frame* seperti pada Gambar 2.



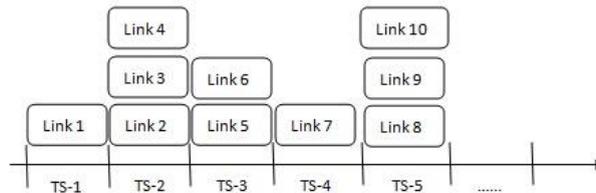
Gambar 4. Struktur frame WMN

Setiap *frame* terdiri atas *Control Subframe* dan *Data Subframe*. *Control subframe* terdiri atas beberapa *Transmission Opportunities* (TO) yang digunakan untuk membawa pesan *signalling* untuk *centralized scheduling* dan *distributed scheduling*, yang dilambangkan dengan TOc dan TOd. Penomoran TOc dan TOd dilakukan oleh operator. *Data subframe* membawa data *user* dan dibagi lagi menjadi 256 *minislot*.

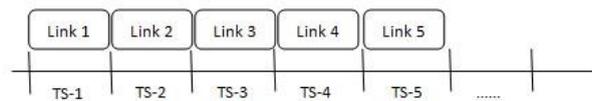
Pada WMN, digunakan *Spatial Time Division Multiple Access* (STDMA) yang dapat mengalokasikan *node* yang berbeda dalam minislot yang sama asalkan antar *node* tersebut memenuhi syarat jarak yang telah ditentukan. STDMA digunakan pada WMN agar *throughput* yang dihasilkan akan meningkat.

2.3 STDMA

Spatial Time Division Multiple Access (STDMA) adalah sebuah teknik akses jamak yang memungkinkan *link* yang berbeda dialokasikan pada minislot yang sama yang antara kedua *link* tersebut memiliki jarak yang cukup jauh. Pada implementasinya, pada satu minislot tidak boleh ada node yang *transmit* maupun *receiver* pada waktu yang bersamaan. Adapun ilustrasi dari STDMA adalah sebagai berikut:



Gambar 5. Penjadwalan menggunakan STDMA



Gambar 6. Penjadwalan menggunakan TDMA

Seperti terlihat pada gambar 2.3.1 dan 2.3.2, terdapat beberapa *link* komunikasi. Pada penjadwalan menggunakan STDMA, pada satu timeslot dapat dialokasikan lebih dari satu *link*. Sedangkan pada penjadwalan dengan menggunakan TDMA, satu timeslot hanya bisa dialokasikan untuk satu *link* saja.

2.3.1 Pemodelan Protocol Interference

Pemodelan *protocol interference* merupakan salah satu pemodelan untuk mendefinisikan *link* yang aktif. Pada pemodelan *protocol interference* ini, sebuah transmisi dari dikatakan sukses jika memenuhi syarat:

- 1) SNR yang diterima pada tidak kurang dari *communication threshold*.

$$S/N > \gamma_c$$

- 2) Sinyal dari pengirim yang tidak diinginkan diterima pada penerima dengan nilai SNR kurang dari *interference threshold* (γ_i). Atau dapat dikatakan bahwa tidak ada transmisi yang dilakukan pada timeslot yang sama dan melibatkan *node* yang sama.

$$S/N < \gamma_i$$

2.3.2 Pemodelan Physical Interference

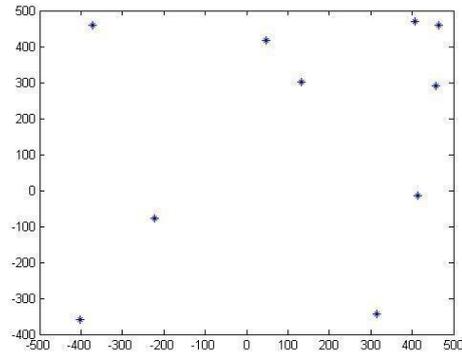
Pemodelan *protocol interference* juga merupakan salah satu pemodelan untuk mendefinisikan *link* yang aktif. Pada pemodelan ini, parameter yang digunakan untuk pengukuran adalah *Signal to Interference Noise Ratio (SINR)*. Adapun sebuah transmisi dari dikatakan sukses jika memenuhi syarat:

$$S/N > \gamma_c + \sum_{i \neq k} S_i/N_i$$

3. Model SISTEM

3.1 Pembangkitan node secara acak

Proses pertama dari sistem ini adalah pembangkitan node secara acak. Node yang dibangkitkan berjumlah 3, 6, 9, 12, dan 15. Node yang dibangkitkan memiliki letak yang dibuat random. Gambar 3.2 menunjukkan contoh pembangkitan 10 *node* secara acak.



Gambar 3.2 Pembangkitan 10 node secara acak

3.2 Menghitung matriks jarak

Node yang telah dibangkitkan tersebut akan dihitung jaraknya antar *node* sehingga didapatkan matriks jarak antar *node*. Jarak antar *node* diperoleh dari rumus sebagai berikut:

$$\sqrt{(\dots)}$$

Dimana:

- =koordinat node 1
- = koordinat node 2

3.3 Menghitung SNR

Selanjutnya akan dihitung nilai SNR dari masing-masing *node* yang telah dibangkitkan. Perhitungan nilai SNR ini menggunakan pemodelan *protocol interference*. Nilai SNR dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\dots$$

Dimana:

- = SNR yang diterima di sisi penerima
- P = daya pancar pengirim (mW)
- = noise power spectral density (dBm)
- D = jarak antara pengirim dan penerima (meter)
- β = path loss exponent

Parameter yang digunakan pada sistem ini disajikan dalam tabel 1.

Tabel 1. Parameter sistem

Parameter	Simbol	Nilai
Daya pancar pengirim	P	10 mW
Path loss exponent	β	4
Noise power spectral density		-90 dBm
Communication threshold		20 dB
Interference threshold		10 dB
Bandwidth	W	10 MHz

3.4 Pemilihan modulasi yang digunakan

Dari nilai SNR tersebut, nantinya akan dilakukan pemilihan atas modulasi yang digunakan oleh masing-masing *node*. Setelah mendapatkan nilai SNR, setiap link memiliki kondisi kanal yang berbeda-beda. Berikut tabel konversi SNR ke modulasi (MCS) yang digunakan:

Tabel 2. Konversi SNR ke MCS

Modulasi	Coding Rate	SNR
BPSK	1/2	3.0
QPSK	3/4	8.5
16-QAM	3/4	15.0
64-QAM	3/4	21.0

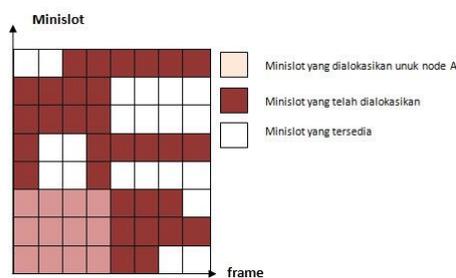
Setelah diperoleh MCS untuk setiap link, selanjutnya dilakukan konversi dari nilai *byte* ke jumlah slot yang akan dialokasikan untuk masing-masing *link*. Adapun konversi dari nilai byte ke jumlah slot yang dialokasikan dapat dilihat di Tabel 3.

Tabel 3. Konversi byte ke jumlah slot

Modulasi	Uncoded block size (byte)	Coded block size (byte)	Code rate
BPSK	12	24	1/2
QPSK	36	48	3/4
16QAM	72	96	3/4
64QAM	108	144	3/4

3.5 Skema Dasar

Pada skema dasar, pengalokasian minislot hanya bisa dilakukan pada minislot kosong secara terurut. Hal ini dikarenakan, sebuah node hanya dapat melakukan negosiasi hanya pada single data selama proses *three way handshake*, sehingga node *granter* hanya dizinkan menempati alokasi minislot paling banyak pada slot blok yang berurutan yang masih kosong. Sehingga, ada kemungkinan pengalokasian minislot pada satu *node* tidak sesuai dengan kebutuhan slot *node* tersebut. Sebagai contoh, pada Gambar 3.3 dapat dilihat contoh *node A* hanya dialokasikan sebanyak 12 minislot, padahal *node A* membutuhkan 24 minislot.



Gambar 3.3 Skema dasar

Adapun penggunaan STDMA sendiri memungkinkan pada tiap slot tersebut dapat ditempati oleh beberapa *node*. Misalkan *node B* memiliki jarak yang cukup jauh dengan *node A* (syarat jarak dijelaskan di Bab II), maka *node B* akan ditempatkan di slot yang sama dengan *node A*.

3.6 Penghitungan throughput, dan fairness index

Tahap selanjutnya adalah penghitungan *throughput*, dan *fairness index*. Tahap ini dilakukan agar hasil keluaran dari sistem ini dapat dianalisis. Adapun penghitungan untuk masing-masing parameter didapat dari persamaan:

- 1) Throughput
Throughput adalah sejumlah bit yang berhasil diterima oleh penerima dalam satu detik. Adapun persamaan throughput per user:

Setelah diperoleh throughput per user, maka akan dihitung performansi *throughput* jaringan menggunakan persamaan:

$$\frac{\Sigma}{\Sigma}$$

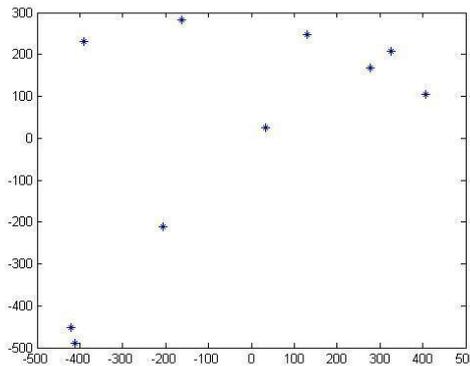
2) Fairness index

Menurut jain' *fairness index*, tujuan dari *fairness index* berdasarkan throughput adalah semua *user* mendapatkan throughput yang sama. *Fairness index* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\Sigma}{\Sigma}$$

4.1. Pembangkitan link

Pembangkitan *node* dilakukan secara acak pada bidang X-Y dengan besar 500mx500m. Jumlah *node* yang dibangkitkan berkisar dari 3, 6, 9, 12 hingga 15 *node*. Pembangkitan *node* ini dilakukan sebanyak 10 kali. Hal ini dilakukan agar jaringan *mesh* yang terbentuk mempunyai berbagai macam kemungkinan konfigurasi. Berikut merupakan contoh pembangkitan 10 *node* secara random:



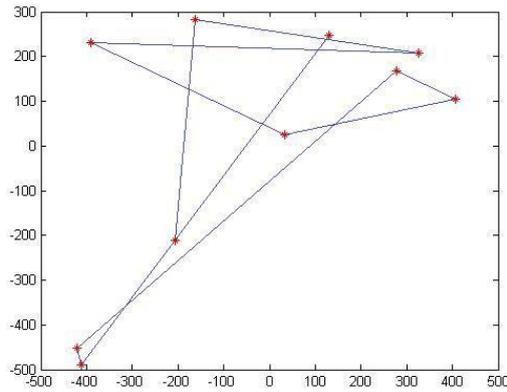
Gambar 4.1 Sepuluh node acak

Berikut merupakan tabel dari posisi 10 node yang telah dibangkitkan pada Gambar 4.1

Tabel 4 Posisi koordinat node

Koordinat X	Koordinat Y
131	247
-411	-490
-420	-452
278	168
406	104
34	26
-391	230
326	207
-162	282
-206	-212

Setelah dilakukan pembangkitan *node*, setiap *node* akan didefinisikan *link* aktif atau tidak dengan pemodelan *protocol interference* yang sudah dijelaskan di Bab II. Berikut adalah contoh topologi jaringan dengan 10 *node*:



Gambar 4.2 Topologi mesh dengan 10 node

Pada topologi di atas, terlihat bahwa tidak semua *node* saling terhubung. Hal ini dikarenakan nilai SNR pada *node* tersebut tidak memenuhi nilai *communication threshold* (). Hanya setiap *node* yang memiliki nilai SNR lebih besar atau sama dengan sajalah yang dapat saling terhubung (*link* aktif). Setiap *node* yang dibangkitkan dapat dihitung jarak antar *node* pada konfigurasi tersebut.

4.2. Analisis Algoritma Skema Dasar Berbasis STDMA

4.2.1 Pengecekan jarak antar node

Agar *node* dapat dijadwalkan secara STDMA, setiap *node* harus memiliki jarak yang cukup jauh (dijelaskan di Bab II). Tahap pertama yang dilakukan adalah membandingkan jarak *node* dengan syarat jarak yang sudah ditetapkan. Dalam hal ini, penulis telah melakukan penghitungan jarak minimal agar antar *node* dapat saling berkomunikasi:

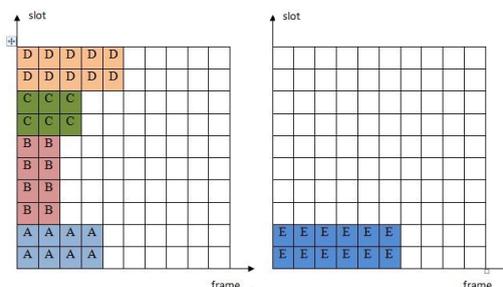
$$\begin{aligned}
 & \left(\quad \right) \quad \left(\text{---} \right) \\
 & \text{-----} \\
 & \text{-----}
 \end{aligned}$$

Maka, jika jarak antar *node* lebih besar dari 84,49 meter, node tersebut dapat dialokasikan di slot yang sama.

4.2.2 Penjadwalan node

Setelah dilakukan pengecekan jarak, setiap *node* akan dialokasikan slot yang berbeda berdasarkan nilai SNR. Semakin besar SNR pada suatu *node*, maka modulasi yang digunakan juga semakin tinggi. Jika modulasi yang digunakan semakin tinggi, maka data yang dapat dibawa juga semakin besar. Waktu penempatan suatu *node* pada suatu slot juga dibuat random. Sehingga kebutuhan slot pada satu *frame* berbeda-beda bergantung pada modulasi yang digunakan. Selain itu, *node* juga menempati *frame* yang berbeda-beda bergantung pada waktu penempatan suatu *node* pada suatu *frame*.

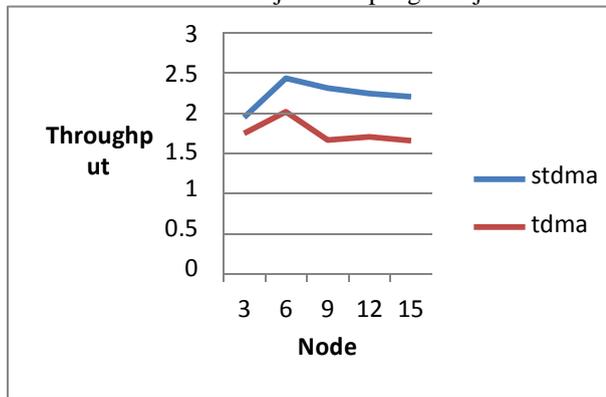
Pada skema dasar, *node granter* tidak dapat mengalokasikan slot secara terpisah. Sebagai contoh, *node D* sebenarnya membutuhkan alokasi sebanyak 15 slot (3x5), namun, slot yang kosong hanya sebanyak 10 slot. Maka, *node D* hanya dapat dialokasikan sebanyak 10 slot dan 5 slot tidak dapat dialokasikan. Misalkan *node E* memiliki jarak lebih dari 84,49 dengan *node A*, maka *node E* akan dialokasikan di slot yang sama dengan *node A*. Pada simulasi dengan MATLAB, penulis mengalokasikan *node E* pada matriks yang berbeda dengan *node A* namun slot yang dialokasikan sama. Sebagai ilustrasi, dapat dilihat Gambar 4.3.



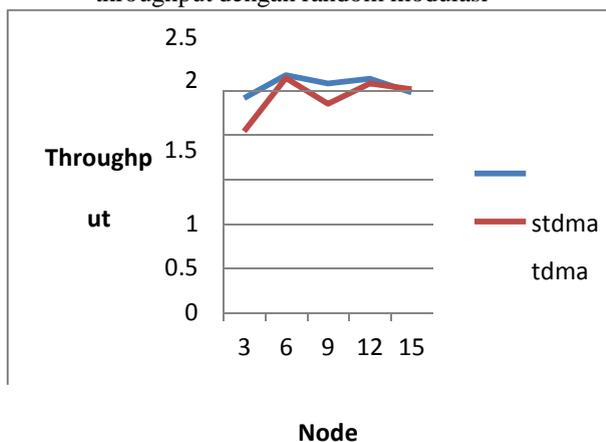
Gambar 4.3 Penempatan slot skema dasar berbasis STDMA

4.3. Analisis pengaruh jumlah node terhadap nilai throughput

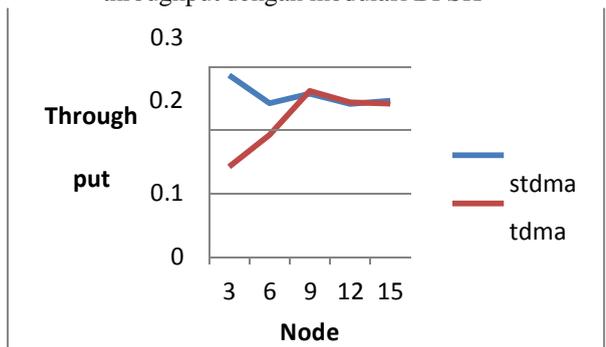
Pada skenario ini akan dijelaskan pengaruh jumlah *node* dengan *throughput* yang diterima.



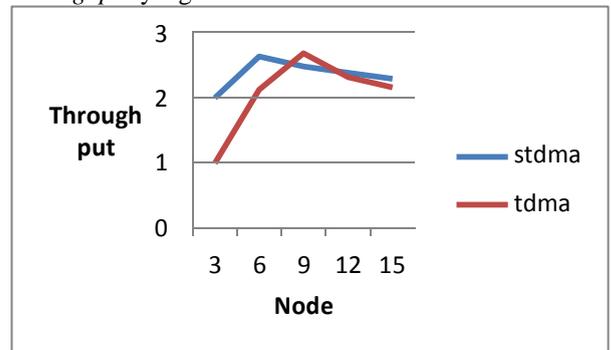
Gambar 4.4 Pengaruh jumlah node terhadap throughput dengan random modulasi



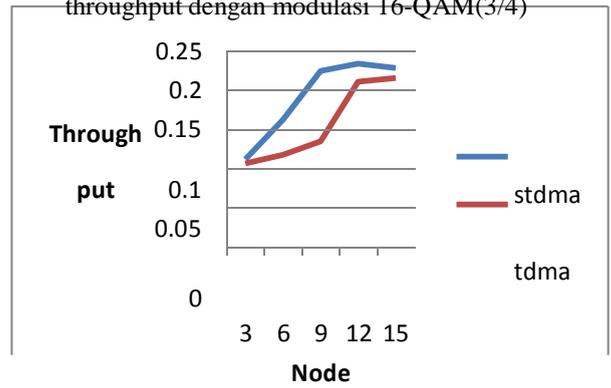
Gambar 4.5 Pengaruh jumlah node terhadap throughput dengan modulasi BPSK



Gambar 4.6 Pengaruh jumlah node terhadap throughput dengan modulasi QPSK(3/4)



Gambar 4.7 Pengaruh jumlah node terhadap throughput dengan modulasi 16-QAM(3/4)



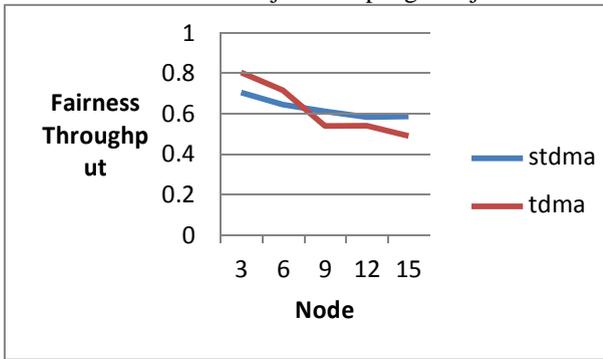
Gambar 4.8 Pengaruh jumlah node terhadap throughput dengan modulasi 64QAM(3/4)

Penghitungan throughput dilakukan dengan lima skenario, yakni menggunakan random modulasi, modulasi BPSK, QPSK(1/2), QPSK(2/3), 16QAM(1/2), 16QAM(3/4), 64QAM(2/3), dan 64QAM(3/4).

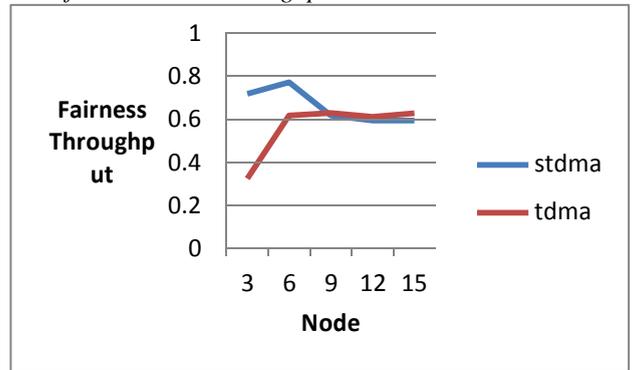
Secara garis besar, jumlah *node* paling efektif untuk masing-masing skenario adalah jumlah *node* 6-9. Semakin besar jumlah *node*, maka kebutuhan akan slot semakin meningkat pula dikarenakan jumlah *link* antar *node* juga pasti semakin membesar. Nilai *throughput* terbesar untuk skenario random modulasi adalah 24,71 kbps untuk skema dasar menggunakan STDMA. Modulasi paling efektif untuk kedua skema adalah modulasi BPSK dan modulasi 16QAM(3/4) dengan nilai throughput untuk modulasi BPSK 21,00 kbps (skema dasar menggunakan STDMA) dan 25,32 kbps (skema dasar menggunakan STDMA).

4.4. Analisis pengaruh jumlah node terhadap fairness index

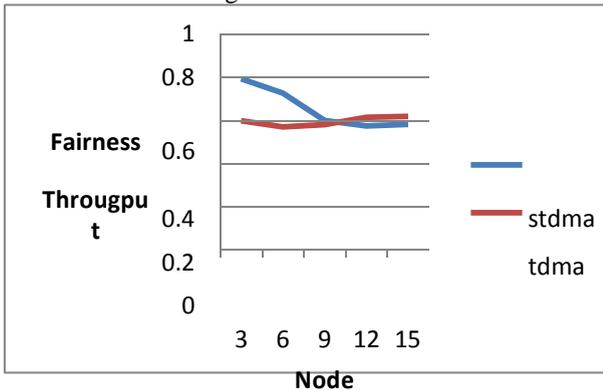
Pada skenario ini akan dijelaskan pengaruh jumlah *node* dengan nilai *fairness index throughput*.



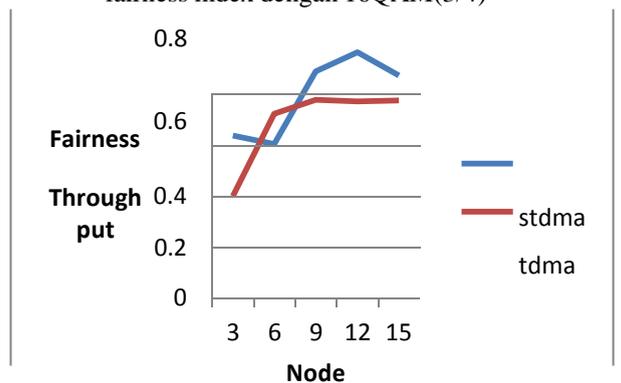
Gambar 4.9 Pengaruh jumlah node terhadap fairness index dengan random modulasi



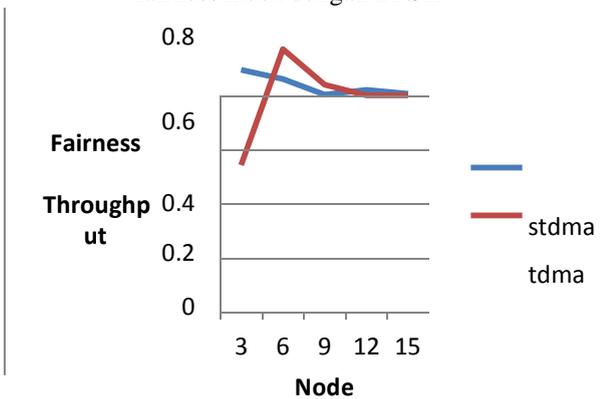
Gambar 4.12 Pengaruh jumlah node terhadap fairness index dengan 16QAM(3/4)



Gambar 4.10 Pengaruh jumlah node terhadap fairness index dengan BPSK



Gambar 4.13 Pengaruh jumlah node terhadap fairness index dengan 64QAM(3/4)



Gambar 4.11 Pengaruh jumlah node terhadap fairness index dengan QPSK(3/4)

Pada skenario pertama, nilai *fairness index* paling fair didapat pada jumlah *node* 3. Nilainya adalah sebesar 0,8122 untuk skema dasar dengan TDMA dan 0,7119 untuk skema dasar dengan STDMA. Semakin besar jumlah *node*, maka kebutuhan akan slot semakin meningkat pula dikarenakan jumlah link antar *node* juga pasti semakin membesar.

Pada skenario-skenario selanjutnya, nilai *fairness index* paling fair adalah pada saat menggunakan modulasi QPSK(3/4) dengan nilai 0,7562 untuk skema dasar dengan TDMA dan dengan modulasi 16QAM(3/4) dengan nilai 0,7771 untuk skema dasar dengan STDMA. Kedua nilai ini diraih pada saat jumlah *node* adalah 6. Maka, secara garis besar, jumlah *node* paling efektif adalah 6 dengan modulasi QPSK(3/4) dan 16QAM(3/4).

5. Penutup

5.1. Kesimpulan

Ada beberapa kesimpulan yang dapat di ambil dari keseluruhan penelitian dan simulasi yang telah dilakukan pada tugas akhir ini, yakni:

1. Jumlah *node* paling efektif untuk jaringan mesh adalah jumlah *node* 6 hingga 9. Semakin besar jumlah *node*, maka kebutuhan akan slot semakin meningkat pula dikarenakan jumlah *link* antar *node* juga pasti semakin membesar. Nilai *throughput* terbesar untuk skenario random modulasi adalah 24,71 kbps dengan menggunakan skema dasar STDMA.
2. Modulasi paling efektif untuk kedua skema adalah modulasi BPSK dan 16QAM(3/4) dengan nilai *throughput* untuk modulasi BPSK 21,00 kbps (skema dasar menggunakan STDMA) dan untuk modulasi 16QAM(3/4) adalah sebesar 25,32 kbps (skema dasar menggunakan STDMA) pada jumlah *node* 6 hingga 9.
3. Pada kondisi kanal random modulasi, nilai *fairness index* paling fair didapat pada jumlah *node* 3. Nilainya adalah sebesar 0,8122 untuk skema dasar dengan menggunakan TDMA dan 0,7199 untuk skema dasar menggunakan STDMA. Semakin besar jumlah *node*, maka kebutuhan akan slot semakin meningkat pula dikarenakan jumlah *link* antar *node* juga pasti semakin membesar.
4. Pada kondisi kanal yang lain, nilai *fairness index* paling fair adalah pada saat menggunakan modulasi QPSK(3/4) dengan nilai 0,7562 dengan menggunakan skema dasar TDMA dan modulasi 16QAM(1/2) dengan nilai 0,7771 untuk skema dasar menggunakan STDMA. Kedua nilai ini diraih pada saat jumlah *node* adalah 6. Maka, secara garis besar, jumlah *node* paling efektif adalah 6 dan modulasi paling efektif adalah QPSK(3/4) dan 16QAM(3/4).

5.2. Saran

Penelitian selanjutnya diharapkan mampu memperbaiki kekurangan yang ada pada Tugas Akhir ini. Untuk itu disarankan hal-hal sebagai berikut:

1. Melakukan studi literatur lebih lanjut terkait skema dasar dengan menggunakan TDMA dan STDMA, karena pada pembangkitan link pada Tugas Akhir ini belum dilakukan pemberian arah untuk masing-masing *link*.
2. Dapat dilakukan perbandingan parameter lain dalam Tugas Akhir ini.
3. Melakukan studi literatur terhadap algoritma-algoritma lain untuk jaringan *mesh* sehingga hasilnya dapat dibandingkan dengan Tugas Akhir ini.
4. Melakukan studi literatur lebih lanjut terhadap STDMA sehingga hasil dari simulasi dapat lebih baik dibandingkan dengan menggunakan TDMA.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Akyildiz IF and, Wang X and Wang "Wireless Mesh Network: A survey computer networks journal".2005
- [2] Dwi Rochma A. "Analisis Unjuk Kerja Penjadwalan Coordinated Distributed pada Jaringan IEEE 802.16 Mesh". 2013
- [3] Agung Herfianto. "Analisis Unjuk Kerja Algoritma Penjadwalan Arborical Link Schedule (ALS) dengan Protocol Interference Model untuk Wireless Mesh Network". 2013.
- [4] Najah A. Abu Ali, Abd-E lhamid M. taha and Hossam S. Hassenein and Hussein T." IEEE 802.16 Mesh Schedulers:Issues and Design Challenges.2008
- [5] Randy Kurniawan," study on dynamic Holdoff and minislot allocation for IEEE 802.16 mesh network", thesis, Electrical engineering , national taiwan university of sscience and technology".2010
- [6] [IEEE](#) Std 802.16 TM-2004. (2004). IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for FixedBroadband Wireless Access Systems
- [7] Hua Zhu, David Tang , Bo Ryi, Ajay Gumalla."Distributed scheduling for Wireless mesh network in realistic RF environments.2006
- [8] Rajendra K. jain, Dah -Ming W. chiu, william R, Hawe" A Quantitative measure fairness and Discrimination for resources allocation in share computer systes'. 1984
- [9] Limin peng,Suyun Sun" 2011 international conference on internet coputing and information service:Coordinated distributed data scheduling scheme in IEEE 802.16 mesh network.2011
- [10] Shie-Yuan Wang, Chih-Che Lin, ku-han FAnd" improving data scheduling efficiency of the IEEE 02.16(d) mesh network.2008