

# Performasi Metode Algoritma *First Maximum Expansion* pada Penjadwalan Kanal *Uplink* untuk *Long Term Evolution*

Endah Budi Purnomowati<sup>1</sup>, Muhammad Fauzan Edy Purnomo<sup>2</sup>, Wanaputri Iswara<sup>3</sup>  
<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya  
Email: endah\_budi@ub.ac.id, mfauzanep@ub.ac.id, wanaputriiswara99@gmail.com

**Abstract**— *LTE is one of the telecommunications networks that has the main advantage of a high data rate, because this advantage makes this network one of the most widely used networks. This make a new problem where radio resources must be used as effectively and efficiently as possible to provide the best service. The service that mention before is the allocation of radio resources in the form of resource blocks to active users. This allocation process is called scheduling, and an algorithm is needed to carry out the scheduling. The scheduling used in this research is First Maximum Expansion (FME) for BER test parameters, throughput, and fairness. This algorithm has the advantage of maximizing throughput and also ensuring the quality of fairness for each user. This research was conducted with a simulation process in a single cell scenario in two conditions, namely LOS and NLOS. This study also uses 4 scenarios with the influence of variations in distance and number of users. In the FME algorithm, fairness results are very good in each scenario of the variation in the number of users and the distance between users and eNodeB, the results are around 0.96-0.99 which is very close to number 1, which means that the fairness index value in this algorithm is very good. Meanwhile, BER and throughput results are quite varied for variations in the number of users and the distance between users and eNodeB. The variation in the number of users causes the BER value and throughput to keep increasing the number of users. Variations in the distance directly affects the value of BER and indirect effect on the value of throughput.*

**Index Terms**—*LTE, schedulling, First Maximum Expansion, througput, fairness, BER.*

**Abstrak**—*LTE adalah salah satu jaringan telekomunikasi yang memiliki keunggulan utama berupa data rate yang tinggi, karena keunggulan tersebut membuat jaringan ini menjadi salah satu jaringan yang paling banyak digunakan. ini menimbulkan permasalahan baru dimana sumber daya radio harus digunakan seefektif dan seefisien mungkin untuk memberikan pelayanan yang terbaik. Pelayanan yang dimaksud adalah alokasi sumber daya radio berupa resource block kepada user aktif. Proses alokasi ini disebut dengan penjadwalan/scheduling, dan dibutuhkan sebuah algoritma untuk menjalankan penjadwalan tersebut. Penjadwalan yang digunakan pada penelitian kali ini yaitu First Maximum Expansion (FME) untuk parameter uji BER, throughput, dan fairness. Penelitian ini dilakukan dengan proses simulasi pada skenario single cell pada dua kondisi yaitu LOS dan NLOS, dan juga menggunakan 4 skenario dengan pengaruh variasi jarak dan jumlah user.*

Saat menggunakan algoritma FME didapatkan hasil *fairness* yang sangat bagus di tiap skenarionya pada variasi jumlah *user* dan jarak *user* terhadap eNodeB, hasil yang didapatkan sekitar 0,96-0,99 yang sangat mendekati angka 1 yang mengartikan bahwa nilai *fairness index* pada algoritma ini sangat baik. Sedangkan untuk hasil BER dan *throughput* cukup bervariasi untuk variasi jumlah *user* dan jarak *user* terhadap eNodeB. Variasi jumlah *user* menyebabkan nilai BER dan *throughput* cenderung tetap seiring bertambahnya jumlah *user*. Variasi jarak *user* mempunyai pengaruh secara langsung terhadap nilai BER dan berpengaruh secara tidak langsung terhadap nilai *throughput*.

**Kata Kunci**— *LTE, schedulling, First Maximum Expansion, througput, fairness, BER.*

## I. PENDAHULUAN

Salah satu jenis layanan jaringan yang saat ini paling sering digunakan adalah LTE (*Long Term Evolution*). LTE adalah teknologi terkini dalam komunikasi seluler yang dapat menangani lalu lintas *data rate* dengan cara yang lebih baik. Teknologi LTE atau *Long Term Evolution*, lebih dikenal dengan sebutan teknologi 4G-LTE adalah suatu teknologi seluler dengan arsitektur berbasis IP yang distandarisasi oleh *3rd Generation Partnership Project* (3GPP) [1]. Tujuan utama dari pengembangan LTE adalah untuk meningkatkan performansi jaringan sehingga meningkatkan kepuasan pelanggan dan untuk mengkonvergensi jaringan-jaringan yang sudah ada sehingga bisa saling terkoneksi dengan mudah [2]. Peningkatan kualitas berbanding lurus dengan peningkatan pengguna layanan yang membuat site yang digunakan menjadi terbatas. Hal ini dapat mengakibatkan penumpukan jumlah user dalam 1 site, sehingga membuat pelayanan komunikasi menjadi tidak optimal. Untuk menghindari terjadinya hal tersebut serta untuk mendukung peningkatan performansi dari LTE maka dibutuhkan sebuah proses penjadwalan [3].

Penjadwalan berfungsi sebagai proses pengalokasian sumber daya radio untuk memberikan prioritas pelayanan pada *user* dalam mendapatkan akses data dengan tujuan untuk memenuhi persyaratan QoS (*Quality of Service*) dari LTE. Prinsip kerja dari penjadwalan kanal ini sendiri bergantung pada algoritma yang digunakan. Penjadwalan dapat terjadi pada kanal *uplink* dan *downlink* LTE [3-5].

Pada penelitian sebelumnya dengan menggunakan algoritma yang berbeda, yaitu algoritma Proportional Fair dan Maximum Throughput, telah diberi kasus berupa variasi jumlah user dan jarak user terhadap

eNodeB. Hasil penelitian menunjukkan variasi jumlah user dan variasi jarak user-eNodeB berpengaruh terhadap BER, fairness, dan throughput. Akan tetapi di kedua algoritma tersebut memiliki kelemahan dalam hal fairness maupun throughput [6]. Melalui penelitian sebelumnya, maka muncul pertanyaan bagaimana jika penjadwalan kanal uplink LTE ini menggunakan algoritma yang berbeda.

Pada penelitian ini, akan menggunakan algoritma First Maximum Expansion (FME) pada penjadwalan kanal uplink LTE. Algoritma ini berfokus pada memaksimalkan throughput dan fairness, dengan cara menetapkan sumber daya RB mulai dari RB dengan nilai matriks tertinggi dalam matriks M dan mengembangkannya di dua arah (dijumlahkan dan dikurangi) [4]. Dengan menggunakan algoritma ini diharapkan memberikan performansi yang baik dalam hal *throughput* dan *fairness* pada penjadwalan kanal uplink LTE.

II. PERANCANGAN SISTEM

Perancangan sistem secara umum dapat dilihat pada Gambar 1. Pengaruh kondisi kanal terhadap alokasi sumber daya radio pada kanal uplink LTE yang menggunakan teknik akses jamak SC-FDMA berdasarkan penjadwalan menggunakan algoritma First Maximum Expansion (FME), serta memberikan perlakuan variasi jumlah user pada kanal uplink LTE untuk mengetahui BER, *throughput*, dan *fairness* berdasarkan algoritma penjadwalan *First Maximum Expansion* (FME).

A. Skenario Single Cell

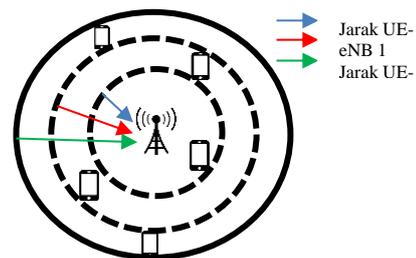
Model cell yang digunakan dalam simulasi ini adalah *single cell*. Simulasi ini dilakukan berdasarkan komposisi trafik dengan jumlah *user* yang bervariasi. Penjadwalan diaplikasikan pada eNodeB pada arah *uplink*.

B. Pengecekan Kondisi Kanal

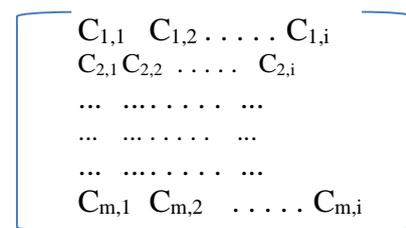
Proses simulasi dimulai dengan pengecekan kondisi kanal *user* melalui perhitungan nilai SNR setiap *user* yang terletak pada jarak tertentu dengan eNodeB. Kondisi kanal *user* tidak memiliki kapasitas kanal yang sama besar antara satu dengan yang lain. Hal ini disebabkan karna variasi jarak *user*. Kondisi kanal *user* yang beragam ini dapat dijelaskan melalui bentuk matriks  $C_{m,i}$  pada Gambar 3 dimana C menyatakan kanal *user*, nilai m menyatakan jumlah sampel waktu dan i menyatakan jumlah *user* [7]. Matriks inilah yang dijadikan sebagai indikator dalam menjadwalkan alokasi *Resource Block*.



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan Sistem



Gambar 2. Desain Skenario Single Cell



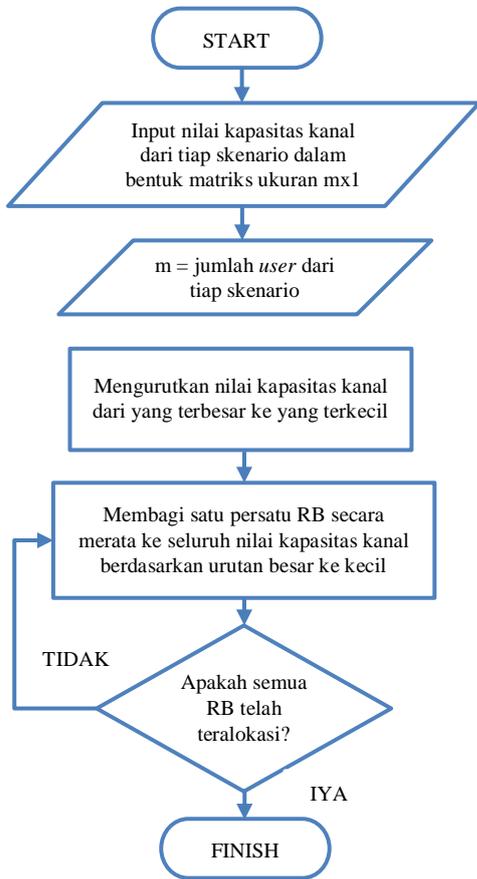
Gambar 3 Kondisi Kanal User dalam Bentuk Matriks  $C_{m,i}$

C. Algoritma yang Digunakan sebagai Scheduler

Pada penelitian ini menggunakan jenis algoritma penjadwalan kanal *First Maximum Expansion* (FME). Algoritma ini berfokus pada memaksimalkan *throughput* dan *fairness*. Prinsip utama dalam FME ini adalah menetapkan sumber daya RB pada nilai matriks tertinggi dalam matriks M, dan mengembangkannya di dua arah. Dengan kata lain, algoritma ini akan memberikan RB-j ke pengguna-i sehingga M (i,j) adalah nilai tertinggi. Kemudian memperluas alokasi pada kolom j+1 dan j-1 dari matriks M. Jika nilai matriks tertinggi ada pada UE-i, maka RB dialokasikan untuk itu. Jika tidak, maka RB

tersebut dialokasikan ke UE baru dan alokasi berlanjut dengannya [7, 8].

Karena pada penelitian ini menggunakan waktu yang sama dalam proses pentrasnisiannya, maka ada perubahan dalam bentuk matriks menjadi  $m \times 1$ , dimana  $m$  adalah jumlah *user* yang aktif dan 1 adalah waktu yang digunakan. Proses pengalokasian RB menggunakan algoritma FME dengan ukuran matriks  $m \times 1$  dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Flowchart Algoritma FME dengan Ukuran Matriks  $m \times 1$

### III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini akan menggunakan simulasi dengan menggunakan 4 skenario, dimana masing-masing skenario memiliki jumlah *user* dan jarak *user* yang berbeda-beda, seperti yang tertera pada Tabel 1.

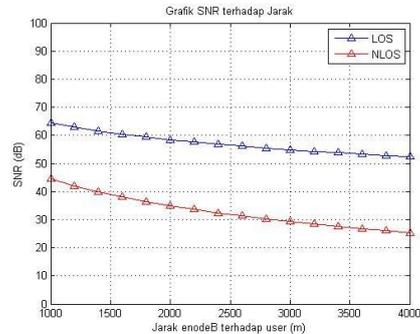
TABEL I  
SKENARIO SIMULASI

Skenario	Jumlah User	User ke-n	Jarak terhadap eNodeB (m)
1	4	1	1000
		2, 3	2400
		4	4000
2	8	1, 2	1000
		3, 4, 5	2000
		6, 7	2800
		8	4000
3	12	1, 2, 3	1000
		4, 5, 6	1800
		7, 8, 9	2800
		10, 11, 12	4000
4	16	1, 2, 3, 4	1000
		5, 6	1600

7, 8, 9, 10	2800
11, 12	3200
13, 14, 15, 16	4000

#### A. Signal to Noise Ratio (SNR)

Hal pertama dalam menentukan penjadwalan adalah menghitung nilai SNR tiap *user* untuk mengecek kondisi kanalnya. Nilai SNR yang telah didapatkan tidak mengalami perubahan hingga tahap akhir simulasi.



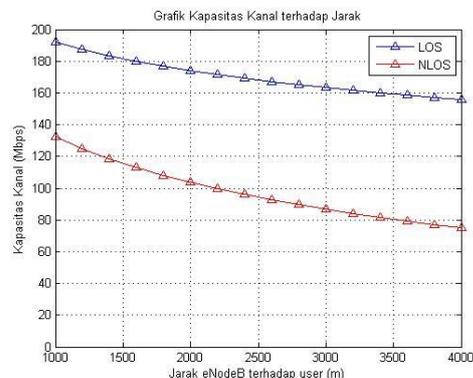
Gambar 5. Grafik SNR terhadap Variasi Jarak

Berdasarkan grafik pada Gambar 5, nilai SNR pada kondisi LOS lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi NLOS pada jarak yang sama. Hal ini disebabkan karena pengaruh *multipath fading*. Dapat diartikan bahwa untuk *user* dengan letak yang sama, sinyal pada kondisi LOS memiliki daya terima lebih tinggi daripada kondisi NLOS. Sehingga dapat diprediksi bahwa komunikasi yang dilakukan pada kondisi LOS memiliki performa lebih baik daripada kondisi NLOS untuk *user* yang sama.

#### B. Kapasitas Kanal

Kapasitas kanal atau *data rate* akan menentukan jumlah RB yang akan dialokasikan pada tiap *user*. Sehingga hal ini merupakan salah satu acuan untuk dilakukan penjadwalan. *User* yang memiliki kapasitas kanal lebih tinggi akan memiliki kondisi kanal yang lebih baik karena sebanding dengan nilai SNR.

Gambar 6 menunjukkan bahwa *user* pada jarak yang sama tetapi dengan kondisi yang berbeda, yaitu LOS dan NLOS, akan menghasilkan dua hasil yang berbeda pula. *User* dengan kondisi NLOS memiliki kapasitas kanal lebih rendah daripada kondisi LOS.



Gambar 6. Grafik Kapasitas Kanal terhadap Variasi Jarak

C. Alokasi Resource Block (RB)

Pengalokasian RB sangat bergantung pada nilai kapasitas kanal yang telah dihitung sebelumnya. Nilai kapasitas kanal *user* yang semakin besar menandakan kanal tersebut semakin baik dalam proses pentransmisian. Penjadwalan dengan menggunakan algoritma FME memprioritaskan pelayanan untuk *user* yang memiliki nilai matriks tertinggi dalam suatu kanal. Kondisi kanal *user* tetap sama dengan kondisi kanal yang telah didapatkan sebelumnya [7].

Algoritma FME memiliki keunggulan dalam hal *throughput* dan *fairness*. Pada penelitian ini sejumlah *user* akan dikirimkan ke *receiver* dalam satu waktu. Hal ini berarti matriks yang digunakan adalah matriks yang berukuran ‘jumlah *user* dalam satu skenario x 1(waktu yang digunakan)’. Sebagai contoh skenario 1 hanya menggunakan 4 *user*, 4 *user* tersebut memiliki jarak yang berbeda-beda akan mengirimkan data ke *receiver* pada waktu yang bersamaan, sehingga matriks yang terbentuk adalah matriks dengan ukuran 4x1.

Hasil alokasi RB yang diperoleh oleh *user* di tiap skenario dapat dilihat pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 5.

TABEL 2  
ALOKASI RB PADA SKENARIO 1

User ke-n	Jarak terhadap eNodeB (m)	Kapasitas Kanal (Mbps)		RB	
		LOS	NLOS	LOS	NLOS
1	1000	191,9264	132,4485	13	13
2	2400	169,1918	96,0806	13	13
3	2400	169,1918	96,0806	12	12
4	4000	155,9264	74,8887	12	12

TABEL 3  
ALOKASI RB PADA SKENARIO 2

User ke-n	Jarak terhadap eNodeB (m)	Kapasitas Kanal (Mbps)		RB	
		LOS	NLOS	LOS	NLOS
1	1000	191,9263	132,4485	7	7
2	1000	191,9263	132,4485	7	7
3	2000	173,9263	103,6524	6	6
4	2000	173,9263	103,6524	6	6
5	2000	173,9263	103,6524	6	6
6	2800	165,1887	89,6807	6	6
7	2800	165,1887	89,6807	6	6
8	4000	155,9264	74,8886	6	6

TABEL 4  
ALOKASI RB PADA SKENARIO 3

User ke-n	Jarak terhadap eNodeB (m)	Kapasitas Kanal (Mbps)		RB	
		LOS	NLOS	LOS	NLOS
1	1000	191,9263	132,4485	5	5
2	1000	191,9263	132,4485	5	5
3	1000	191,9263	132,4485	4	4
4	1800	176,6624	108,0288	4	4
5	1800	176,6624	108,0288	4	4
6	1800	176,6624	108,0288	4	4
7	2800	165,1887	89,6807	4	4
8	2800	165,1887	89,6807	4	4
9	2800	165,1887	89,6807	4	4
10	4000	155,9264	74,8886	4	4
11	4000	155,9264	74,8886	4	4
12	4000	155,9264	74,8886	4	4

TABEL 5  
ALOKASI RB PADA SKENARIO 4

User ke-n	Jarak terhadap eNodeB (m)	Kapasitas Kanal (Mbps)		RB	
		LOS	NLOS	LOS	NLOS
1	1000	191,9263	132,4485	4	4
2	1000	191,9263	132,4485	4	4
3	1000	191,9263	132,4485	3	3
4	1000	191,9263	132,4485	3	3
5	1600	179,7210	112,9217	3	3
6	1600	179,7210	112,9217	3	3
7	2800	165,1887	89,6807	3	3
8	2800	165,1887	89,6807	3	3
9	2800	165,1887	89,6807	3	3
10	2800	165,1887	89,6807	3	3
11	3200	161,7211	84,1394	3	3
12	3200	161,7211	84,1394	3	3
13	4000	155,9264	74,8886	3	3
14	4000	155,9264	74,8886	3	3
15	4000	155,9264	74,8886	3	3
16	4000	155,9264	74,8886	3	3

D. Bit Error Rate (BER)

BER merupakan salah satu parameter dari hasil simulasi pada penelitian ini. Perhitungan BER dipengaruhi oleh jenis modulasi adaptif yang digunakan. Penerapan modulasi adaptif pada sistem dapat membuat eNodeB memilih jenis modulasi yang sesuai dengan SNR masing-masing *user*. Suatu *user* akan menggunakan modulasi QPSK jika *user* tersebut memiliki  $26,91 \text{ dB} \leq \text{SNR} < 31,31 \text{ dB}$  dan menggunakan modulasi 16QAM jika *user* tersebut memiliki  $\text{SNR} \geq 31,31$ . Hal ini membuat setiap *user* dapat memiliki nilai BER yang berbeda-beda. BER akan dihitung dengan menggunakan persamaan seperti di bawah.

$$\text{SNR} = 10 \log \frac{P_r}{N_0} \text{ (watt)} \quad (1)$$

$$\text{BER}_{16\text{QAM}} = \frac{1}{4} \left[ \left( 1 - \sqrt{\frac{\text{SNR}}{10 + \text{SNR}}} \right) + \left( 1 - \sqrt{\frac{9 \times \text{SNR}}{10 + (9 \times \text{SNR})}} \right) \right] \quad (2)$$

TABEL 6  
HASIL PERHITUNGAN BER TIAP SKENARIO

User ke-n	Jarak terhadap eNodeB (m)	Jenis Modulasi		BER	
		LOS	NLOS	LOS	NLOS
1	1000	16 QAM	16 QAM	5,28636e-07	5,15781e-05
2-3	2400	16 QAM	16 QAM	3,0449e-06	84,6138 e-05
4	4000	16 QAM	QPSK	8,45784e-06	156,1105 e-05
1-2	1000	16 QAM	16 QAM	5,28636e-07	5,15781e-05
3-5	2000	16 QAM	16 QAM	2,11453e-06	47,2999 e-05
6-7	2800	16 QAM	QPSK	4,14443e-06	50,0186 e-05
8	4000	16 QAM	QPSK	8,45784e-06	156,1105 e-05
1-3	1000	16 QAM	16 QAM	5,28636e-07	5,15781e-05
4-6	1800	16 QAM	16 QAM	1,71277e-06	33,7851 e-05
7-9	2800	16 QAM	QPSK	4,14443e-06	50,0186 e-05
10-12	4000	16 QAM	QPSK	8,45784e-06	156,1105 e-05
1-4	1000	16 QAM	16QAM	5,28636e-07	5,16 e-05
5-6	1600	16 QAM	16QAM	1,3533e-06	23,2 e-05
7-10	2800	16 QAM	QPSK	4,14443e-06	50 e-05
11-12	3200	16 QAM	QPSK	5,4131e-06	76,6 e-05
13-16	4000	16 QAM	QPSK	8,45784e-06	156,1 e-05

Tabel 6 memperlihatkan bahwa nilai BER berbanding lurus dengan jarak antara *user* dan eNB, dapat dilihat nilai BER pada skenario 1 kondisi LOS maupun NLOS, *user*-1 yang memiliki jarak paling dekat dengan eNodeB memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan *user*-4 pada skenario yang sama, sehingga semakin jauh jarak *user* terhadap eNodeB, maka nilai BER yang didapatkan juga semakin besar. Hal ini disebabkan karena dalam perhitungan nilai BER sangat dipengaruhi oleh nilai SNR. Nilai BER pada kondisi LOS memiliki nilai yang lebih kecil karena *pathloss* pada LOS jauh lebih kecil dibanding pada kondisi NLOS. Untuk variasi jumlah *user* tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai BER, dapat dilihat nilai BER pada posisi 1000m dengan skenario yang berbeda memiliki nilai yang sama.

TABEL 7  
HASIL BER SISTEM TIAP SKENARIO

Ske- nario	Jumlah User	BER			
		QPSK		16QAM	
		LOS	NLOS	LOS	NLOS
1	4	1,2419e-06	4,9776e-04	3,4496e-06	0,0014
2	8	1,1566e-06	4,6878e-04	3,2128e-06	0,0013
3	12	1,2061e-06	4,9481e-04	3,3503e-06	0,0014
4	16	1,3411e-06	5,6283e-04	3,7251e-06	0,0015

BER sistem adalah hasil dari perhitungan rata-rata BER semua *user* dalam suatu *cell* jaringan, dimana BER tiap *user* dikalikan dengan RB yang teralokasi pada *user* tersebut kemudian dibagi dengan total RB. Pada Tabel 7 menunjukkan hasil dari nilai BER sistem tiap skenario. Terlihat bahwa pada kenaikan jumlah *user*, nilai BER sistem akan cenderung tetap pada kondisi LOS maupun NLOS. Hasil BER sistem pada kondisi LOS lebih kecil dibandingkan pada kondisi NLOS karena *pathloss* pada LOS jauh lebih kecil dibanding pada kondisi NLOS.

E. Throughput

Pada penelitian ini, nilai *throughput* berbanding lurus dengan nilai *data rate user*. Hal ini disebabkan karena nilai *throughput* sangat dipengaruhi oleh *data rate user*. Untuk menghitung nilai *throughput*, rumus yang digunakan yaitu:

$$D_i = (1 - BER_{user(n)}) \times C_{user(n)} \quad (3)$$

Dimana  $D_i$  dan  $K$  berturut-turut yaitu *data rate* yang diterima oleh *user*-i (Mbps) dan jumlah *user*.

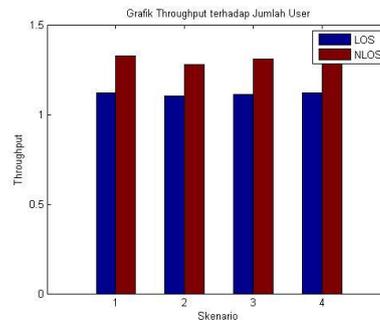
TABEL 8  
NILAI THROUGHPUT USER PADA TIAP SKENARIO

Ske- nario	User ke-n	Jarak terhadap eNodeB (m)	Throughput	
			LOS	NLOS
1	1	1000	1.1187	1.3261
	2-3	2400	0.9862	0.9620
	4	4000	0.9089	0.7498
2	1-2	1000	1.1031	1.2765
	3-5	2000	0.9996	0.9989
	6-7	2800	0.9494	0.8643
	8	4000	0.8962	0.7217
3	1-3	1000	1.1131	1.3080
	4-6	1800	1.0246	1.0668
	7-9	2800	0.9580	0.8856

4	10-12	4000	0.9043	0.7396
	1-4	1000	1.1228	1.3394
	5-6	1600	1.0514	1.1419
	7-10	2800	0.9664	0.9069
	11-12	3200	0.9461	0.8509
	13-16	4000	0.9122	0.7573

Tiap nilai *throughput* pada kolom LOS dan NLOS seperti Tabel 8 menunjukkan bahwa nilai tersebut adalah jumlah data aktual yang dikirimkan pada waktu dan kondisi tertentu. Contohnya pada skenario 1, *user* ke-1 kondisi LOS. *User* tersebut memiliki nilai LOS 1.1187 Mbps, yang berarti bahwa *user* tersebut membawa data sebanyak 1.1187 Megabit per detiknya pada saat *user* tersebut melakukan proses pentransmisian.

Perhitungan *throughput* pada tiap skenario yang ditunjukkan oleh Tabel 8. Jarak eNodeB terhadap *user* semakin jauh, maka nilai *throughput* yang didapatkan semakin kecil dan nilai *throughput* pada kondisi NLOS cenderung lebih besar dibandingkan pada kondisi LOS. Kedua hal ini secara tidak langsung dipengaruhi oleh nilai kapasitas kanal atau *data rate* pada tiap *user*.



Gambar 7 Grafik Throughput pada Tiap Skenario

Pada penelitian ini, nilai yang dihitung adalah *throughput* ternormalisasi yang didapatkan dari nilai *throughput* maksimum. Nilai ini menyatakan kapasitas maksimum suatu medium untuk melakukan proses transmisi. Kondisi kanal dan nilai SNR yang berbeda-beda dapat memunculkan suatu nilai *throughput* maksimum.

Tabel 8 menunjukkan menunjukkan nilai *throughput* maksimum untuk tiap skenario, dimana perubahan jumlah *user* membuat nilai *throughput* yang didapatkan cenderung tetap atau bersifat fluktuatif. Gambar 7 menunjukkan grafik tabel performansi *throughput* pada kondisi LOS dan NLOS dengan jumlah *user* yang bervariasi pada tiap skenarionya.

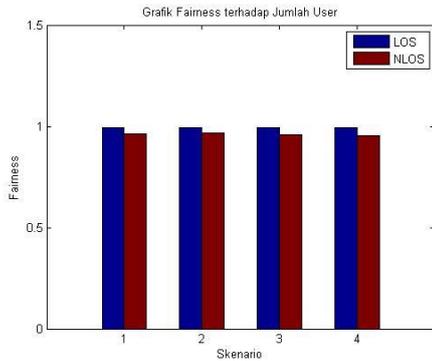
F. Fairness

*Fairness* merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk melihat seberapa adil sebuah algoritma yang digunakan dalam sebuah penjadwalan atau alokasi sumber daya radio pada sebuah sistem. Nilai *fairness* merupakan keadilan dimana semua *user* akan mendapat pelayanan yang sama pada sebuah sistem sesuai kapasitasnya yang ditentukan oleh kondisi kanal setiap *user*.

Nilai *fairness* dihitung menggunakan persamaan (2-

10) dan memiliki rentang nilai 0-1. Angka 0 merupakan nilai terendah yang berarti sistem tersebut mempunyai keadilan yang buruk dan angka 1 meyakinkan nilai paling tinggi yang berarti sistem tersebut mempunyai keadilan yang sangat baik.

$$F = \frac{\left[ \sum_{n=1}^k D_i \right]^2}{k \sum_{n=1}^k D_i^2} \quad (4)$$



Gambar 8. Grafik *Fairness* terhadap Tiap Skenario

Gambar 8 menunjukkan hasil dari perhitungan *fairness* pada pada kondisi kanal LOS dan NLOS untuk masing-masing skenario. Pada kondisi LOS nilai *fairness* yang didapat lebih tinggi daripada kondisi NLOS. Sedangkan untuk jumlah *user* yang berbeda-beda tiap skenarionya, nilai *fairness* cenderung tetap. Hal ini disebabkan karena algoritma yang digunakan pada penelitian ini memperhatikan kondisi kanal rata-rata dan mengalokasikan *resource block* secara merata, sehingga seluruh *user* yang aktif dapat terlayani dengan baik.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan mengenai penjadwalan kanal *uplink* pada pada

jaringan LTE dengan menggunakan algoritma *First Maximum Expansion* (FME), maka dapat disimpulkan dengan diberikannya variasi berupa jarak antara eNodeB dan *user*, penjadwalan atau proses pengalokasian RB ke masing-masing *user* mengalami penurunan seiring bertambahnya jarak baik dalam kondisi LOS maupun NLOS. Variasi jarak *user* juga mempengaruhi nilai BER. Semakin jauh jaraknya, maka nilai kapasitas kanal semakin kecil dan sebanding juga dengan nilai RB yang teralokasi. Variasi jarak *user* mempunyai pengaruh sangat kecil terhadap nilai *fairness*. Seiring bertambahnya jumlah *user*, nilai BER cenderung tetap. Begitu juga dengan nilai *fairness*, karena hanya dipengaruhi nilai RB yang teralokasi. Sedangkan nilai *throughput* ternormalisasi maksimum didapatkan nilai yang fluktuatif seiring bertambahnya jumlah *user*.

#### REFERENCES

- [1] Ghosh, Arunabha, Zhang, J., Andrews, J. G., & Muhamed, R. (2010). *Fundamentals of LTE*. US.
- [2] Ridwan, Irawati, Indrarini D., & Negara, Ridha Muldina. (2016). Analisis Performansi Algoritma Log Rule Dan Frame Level Schedule Skenario Multicell pada Layer Mac LTE. Bandung: Universitas Telkom.
- [3] Safa, Haidar & Tohme, Kamal. (2012). *LTE Uplink Scheduling Algorithms: Performance and Challenges*. 19th International Conference on Telecommunications (ICT 2012). Beirut, Lebanon: Department of Computer Science, American University of Beirut
- [4] Sinaga, Nadia. (2019). *Analisis Algoritma Maximum Throughput sebagai Algoritma Penjadwalan Kanal Uplink Long Term Evolution (LTE)*. Malang: Univeristas Brawijaya
- [5] Rahma, Muthia. (2017). Analisis Penjadwalan Kanal Uplink Long Term Evolution (LTE) Menggunakan Algoritma Proportional Fair. Malang: Univeristas Brawijaya
- [6] Afroz, F., Heidery, R., Shebab, M., Sandrasegaran, K., & Shompa, S.S. 2015. *Comparative Analysis of Downlink Packet Scheduling Algorithms in 3gpp LTE Networks*. *International Journal of Wireless & Mobile Networks (IJWMN)* Vol. 7, No. 5.
- [7] Kanagasabai, Aswin & Nayak, Amiya. (2015). *Channel Aware Scheduling Algorithm for LTE Uplink and Downlink*. Canada : University of Ottawa
- [8] Khan, Farooq. 2009. *LTE for 4G Mobile Broadband*. UK : Cambridge University Press.