

Simulasi dan Analisis Performansi Algoritma Pengalokasian *Resource Block* dengan Batasan Daya dan *Quality of Service* pada Sistem LTE Arah Downlink

Simulation and Analysis Performance Algorithm of Resource Block Allocation with Power Source and Quality of Service Constraints on downlink LTE system

Ferdi Setyo Ariawan¹, Arfianto Fahmi², Afief Dias Pambudi³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi– Fakultas Teknik Elektro– Universitas Telkom

¹maniaxjowo@gmail.co.id ²arf@ittelkom.ac.id ³afb@ittelkom.ac.id

Abstrak

Dalam jaringan LTE diharuskan untuk mendukung layanan campuran dengan perbedaan QoS. Oleh karena itu, dibuat penelitian mengenai Simulasi dan Analisis Performansi Algoritma Pengalokasian *ResourceBlock* dengan Batasan Daya dan *QualityofService* pada Sistem LTE Arah Downlink

Pada penelitian ini dilakukan pengujian algoritma untuk mengalokasikan *resourceblock* dengan batasan daya dan QoS. Algoritma penjadwalan *resourceblock* yang diajukan, diuji dengan dua algoritma lain, yaitu maximum C/I dan proportional fair. Pengujian dilakukan dengan menggunakan simulasi dan diambil parameter-parameter pembandingan antara lain, jumlah alokasi *resourceblockuser*, *throughputuser*, *powerreceiveuser*, dan *fairness*. .

Penelitian ini menghasilkan hasil simulasi pada aplikasi matlab dengan tiga algoritma penjadwalan alokasi *resourceblock*. Dari hasil simulasi skenario 40 user diperoleh nilai rata-rata jumlah alokasi *resource block* tertinggi pada algoritma proportional fair dengan nilai rata-rata pada user 2 = 0.73. Nilai *throughput* rata-rata tertinggi pada algoritma maximum C/I sebesar 0.63 Mbps. Nilai rata-rata *power receive user* tertinggi pada algoritma proportional fair sebesar -43.27 dBm. Nilai rata-rata *fairness* berdasarkan alokasi resource blocknya, tertinggi pada algoritma dengan batasan daya dan QoS sebesar 0.45.

Kata kunci: Simulasi, Alokasi *Resource Block*, Batasan Sumber Daya, QoS, LTE, Downlink

Abstract

LTE network required to support services with different QoS mix. Therefore, research is made about Simulation and Analysis Performance Algorithm of Resource Block Allocation with Power Source and Quality of Service Constraints on downlink LTE system.

In this research, I proposed an algorithm to allocate resource block with power and QoS constraints. Algorithm of resource block scheduling that I proposed, tested with two other algorithms that is maximum C/I and proportional fair. Test is done using simulation and parameters that be drawn as comparison such as, amount of resource block allocation of users, user's throughput, user's power receive, and fairness.

This research resulted in matlab application with three resource block allocation scheduling. From the simulation of 40 users, results of the highest average value of resource block allocation is proportional fair algorithm on user 2 with value 0.73. The highest value of throughput is maximum C/I algorithm with value 0.63 Mbps. The highest average power receive user is proportional fair algorithm with value -43.27 dBm. Value of average fairness based on resource block allocation, the highest is proportional fair algorithm with value 0.45.

Keywords: Simulation, Resource Block Allocation, Power Source Limitation, QoS, LTE, Downlink

1. Pendahuluan

Pada penelitian sebelumnya^[4], telah dilakukan simulasi pengalokasian resource block pada jaringan LTE dengan batasan kestabilan antrian dan ketersediaan *power transmit*. Pada penelitian tersebut telah dilakukan proses penjadwalan *cross-layer* pada LTE. Kelebihannya ialah dapat melakukan penjadwalan lebih optimal dibandingkan dengan proses penjadwalan konvensional yang hanya menggunakan parameter acuan satu layer saja. Pada penelitian tersebut kekurangannya ialah tidak adanya variasi jenis trafik yang digunakan pada saat simulasi. Dengan bersumber pada penelitian tersebut^[4], saya melakukan penelitian lanjutan menguji algoritma pengalokasian *resource block* dengan variasi jumlah user dan tipe trafik. Tipe trafik yang digunakan pada penelitian saya ialah layanan *real time* (voice dan video call), serta layanan *non real time* (video streaming dan http/browsing)

Penelitian yang dilakukan menggunakan batasan daya pada eNodeB dan QoS. Mengacu pada penelitian sebelumnya^[2], pada penelitian ini juga melakukan proses pengalokasian *resource block*, dengan menggunakan metode *cross-layer*. Metode *cross-layer* tersebut dianggap perlu dikarenakan pada kenyataannya kita harus memperhatikan

lebih dari satu layer untuk dapat menghasilkan proses pengalokasian resource yang lebih baik. Pada eNodeB keterbatasan *power transmit* juga menjadi parameter penting dalam mengalokasikan *resource block*, hal ini karena masing-masing *resource block* menggunakan *power transmit* untuk dapat digunakan oleh UE (*User Equipment*). *Power transmit* yang ada harus dapat digunakan secara adil pada setiap *resource block* supaya dapat digunakan oleh UE secara optimal. Sedangkan variasi tipe trafik diperlukan sebagai acuan, karena UE memerlukan kebutuhan yang berbeda-beda serta tingkat prioritas dalam pelayanan yang berbeda pula. Dengan memanfaatkan parameter perbedaan tipe trafik UE, saya melakukan pengalokasian resource block sesuai dengan kebutuhan masing-masing UE sesuai dengan kebutuhan trafiknya.

Pada penelitian ini menggunakan algoritma yang telah saya ajukan, yaitu algoritma pengalokasian resource block dengan batasan daya dan QoS. Untuk menguji performansi dari algoritma tersebut, saya membandingkannya dengan algoritma pengalokasian *resource block* yang telah ada saat ini yaitu, algoritma *Maximum C/I* dan *Proportional Fair*. Parameter yang saya gunakan sebagai pembandingan antara lain, jumlah alokasi resource block pada masing-masing UE, throughput rata-rata UE, throughput sistem, *power receive* masing-masing UE, serta *fairness* (*fairness resource block*, *fairness throughput* dan *fairness power receive*).

Pada skema jaringan LTE, pengalokasian resource block dilakukan berdasarkan data CSI (*channel state information*) masing-masing UE. Proses *scheduling* dilakukan sesuai dengan algoritma yang digunakan yaitu

1. Algoritma C/I Max
2. Algoritma Proportional Fair
3. Algoritma dengan Batasan Daya dan QoS

Untuk *user-user* yang akan mendapatkan alokasi daya dan *subcarrier*, nantinya akan dilayani dengan menggunakan prioritas untuk memberikan jaminan QoS. Proses pelayanan tersebut akan berdasarkan pada parameter-parameter sebagai berikut :

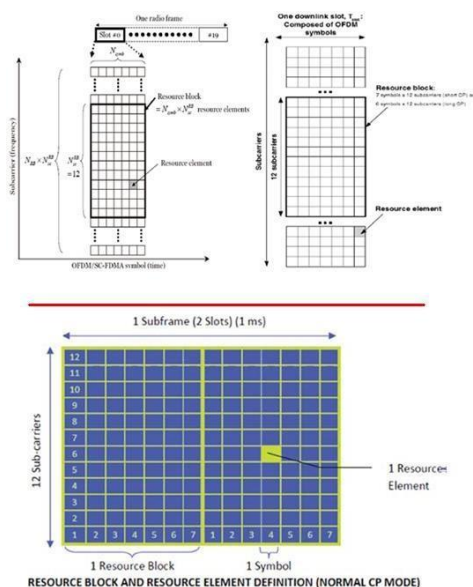
1. Jenis layanan yang digunakan user (*Voice, Video Call, Video Streaming, Http*).
2. Modulasi yang digunakan UE (64QAM, 16QAM, QPSK, BPSK).
3. Ketersediaan *power transmit* eNodeB
(*power transmit* tersedia > kebutuhan *power transmit*).

Dari ketiga parameter tersebut dilakukan pengecekan terlebih dahulu sebelum layanan pada masing-masing *user* dilayani pada *server*. Ketiga parameter tersebut digunakan agar dapat menghasilkan tingkat pelayanan yang lebih baik dan peningkatan jaminan QoS pada masing-masing *user* yang menggunakan layanan berbeda-beda.

2. Dasar Teori

2.1 Resource Block

Pada jaringan LTE, 1 resource block berisi 12 subcarrier. Masing-masing subcarrier tersebut mampu membawa hingga 7 simbol pada kondisi normal cyclic prefix. Resource block pada LTE hanya dapat digunakan maksimal oleh 1 user, sehingga tidak dapat di share ke user lain jika sedang digunakan. Lebih jelas, struktur frame LTE tampak pada gambar 1^[6]



Gambar 1. Struktur Frame LTE

Pada gambar 1 tersebut, panjang 1 subframe ialah 1 ms, sedangkan 1 subframe sama dengan 2 resource block. Jadi 1 resource block hanya sepanjang 0.5 ms.

2.2 BitErrorRatio (BER)

Biterorratio adalah perbandingan antara jumlah bit *error* dengan jumlah bit yang dikirimkan dalam suatu interval waktu. Untuk mapper QPSK, secara matematis BER dapat dituliskan sebagai berikut^[10]:

$$P_e \approx Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (1)$$

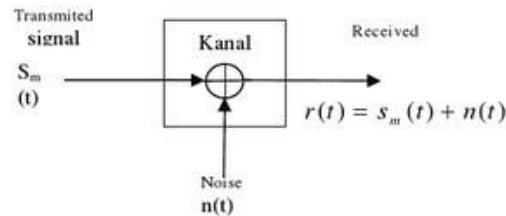
BER untuk mapper M-QAM, secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut^[10]:

$$P_E(M) = 4\left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right)Q\left(\sqrt{\frac{3\log_2 M E_b}{M-1 N_0}}\right) \quad (2)$$

2.3Kanal Transmisi

2.3.1 Kanal AWGN

Sebelum melewati kanal *multipath fading rayleigh*, sinyal dilewatkan pada kanal AWGN^[4]. Kanal yang dimaksudkan ini berada pada saluran transmisi, dan noise-nya disebabkan oleh perangkat telekomunikasi itu sendiri dengan nilainya menggunakan distribusi *Gaussian* serta tersebar rata di setiap frekuensi. Dalam penelitian ini, kanal AWGN direpresentasikan dengan *zero mean gaussian noise* ($\mu = 0$) dan variansi ($\sigma^2 = 1$).



Gambar 2. Model Kanal AWGN

Berdasarkan gambar 2 sinyal transmisi $s_m(t)$ pada kanal akan dipengaruhi oleh $n(t)$ pada interval $0 \leq t \leq T$, sehingga sinyal yang diterima menjadi :

$$r(t) = s_m(t) + n(t), \quad 0 \leq t \leq T \quad (3)$$

2.3.2 Pathloss

Pathloss atau rugi-rugi daya menyebabkan level daya terima sinyal lebih kecil dari daya transmisi. Hal ini dikarenakan semakin bertambahnya jarak antara *transmitter* dengan *receiver*. Selain *pathloss*, *shadowing* juga dapat menyebabkan penurunan level daya terima sinyal. Berdasarkan standar 3GPP, *pathloss* dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut^[2]:

$$Loss = 128,1 + 37,6 \log d \quad (4)$$

$d = \text{jarak antara eNodeB dengan UE (km)}$

Setelah didapat nilai L , ditambahkan dengan distribusi *log normal shadowing* dengan standar deviasi 8 dB^[8].

3. Algoritma dan Parameter Simulasi

3.1 Parameter Simulasi

Pada ketiga algoritma yang disimulasikan, pengalokasian resource block dilakukan berdasarkan data CSI (*channel state information*) masing-masing UE. Proses *scheduling* dilakukan sesuai dengan algoritma yang digunakan yaitu:

1. Algoritma Max C/I
2. Algoritma Proportional Fair
3. Algoritma dengan Batasan Daya dan QoS

Asumsi dalam sistem :

- Himpunan *resource block* dalam sistem : $A=\{1, 2, \dots, K\}$
- Tiap *resource block* maksimal dialokasikan untuk 1 *user* : $\sum_{k=1}^K C_{k,n} = 1, \forall n$
- Tidak ada daya yang 0 : $P_{k,n} \geq 0, \forall k, n$
- Transmisi eNodeB dan UE pada daerah yang ideal.

Pada simulasi ini menggunakan parameter yang mengacu pada standar LTE^[1]. Sesuai dengan kriteria yang dijabarkan pada standar tersebut, maka digunakan parameter seperti pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. Parameter Simulasi LTE

Parameter	Value
System Bandwidth	10 MHz
Number of RBs per TTI	50
Number of frames per TTI	1
Number of RBs per TTI	50
Number of Subcarrier per RB	12
RB bandwidth	180 KHz
Space between Subcarrier (Δf)	15 KHz
Channel type, Channel variance	AWGN, 1mW
Available transmit power (P_0)	43 dBm / 20W
Gain antenna UE	18 dB
TTI (<i>transmission time interval</i>)	1 ms
Number of users	5, 10, 20, 40
User distance	Random [0-1] (km)
Applications	Voice, Video Call, Video Streaming, Http
Traffic priority	Voice=1, Video Call=2, Video Streaming=3, Http=4
Cyclic prefix	Normal

Asumsi-asumsi yang digunakan dalam simulasi ini adalah :

1. Sinkronisasi dan estimasi kanal yang sempurna antara eNodeB dan UE.
2. *Power Average Peak Ratio* (PAPR) tidak diperhitungkan dalam simulasi ini.
3. Konversi *Digital to Analog* (D/A) dan *Analog to Digital* (A/D) tidak dimasukkan ke dalam simulasi.
4. Tidak ada interferensi dari luar sel eNodeB.

3.2 Algoritma Pengalokasian *Resource Block*

3.2.1 Maximum C/I

Teknik penjadwalan pada algoritma *Maximum C/I* didasarkan pada kondisi kanal untuk memaksimalkan *throughput* sistem. Algoritma max C/I terhadap *user* ke-*i* diekspresikan melalui persamaan^[8]:

$$n(k, m) = \arg \max_i \{c_i[k, m]\} \quad (5)$$

$c_i[k, m]$ adalah kondisi kanal pada waktu dan frekuensi tertentu untuk *user* ke-*i*. Dalam simulasi, nilai yang menunjukkan parameter ini adalah nilai SNR yang didapat dari masing-masing *user*.

3.2.2 Proportional Fair

Teknik penjadwalan pada algoritma ini memanfaatkan kondisi kanal *short term* untuk mempertahankan *long term data rate* rata-rata. Proses alokasi sumber daya oleh algoritma PF terhadap *user* ke-*i* dideskripsikan melalui persamaan^[8]:

$$n(k, m) = \arg \max_i \left\{ \frac{c_i[k, m]}{r_i[m]} \right\} \quad (6)$$

$c_i[k, m]$ merupakan kondisi kanal *user* *i* untuk waktu dan frekuensi tertentu yang dideskripsikan melalui nilai SNR *user* tersebut. Sedangkan, variabel $\bar{r}_i[m]$ merupakan kondisi kanal rata-rata *user*-*i*.

3.2.3 Algoritma Penjadwalan dengan Batasan Daya dan QoS

Algoritma ini menggunakan gabungan dari maksimum C/I dan proportional fair, dengan menggunakan daya dan QoS sebagai batasannya. Dalam penerapannya alokasi daya akan diberikan ke *resource block* yang aktif sesuai dengan jumlah yang dibutuhkan *user* ke-*i*, berdasarkan persamaan:

$$n(k, m) = \arg \max_i \left\{ \frac{c_i[k, m]}{\bar{r}_i[m]} \right\} \quad (7)$$

$c_i[k, m]$ merupakan kondisi kanal *user* *i* untuk waktu dan frekuensi tertentu yang dideskripsikan melalui nilai SNR *user* tersebut. Sedangkan, variabel $\bar{r}_i[m]$ merupakan kondisi kanal rata-rata *user*-*i*.

Untuk pegalokasian *resource block* sendiri akan menggunakan karakteristik seperti algoritma maksimum C/I dengan persamaan:

$$n(k, m) = \arg \max_i \{c_i[k, m]\} \quad (8)$$

$c_i[k, m]$ adalah kondisi kanal pada waktu dan frekuensi tertentu untuk *user* ke-*i*. Dalam simulasi, nilai yang menunjukkan parameter ini adalah nilai SNR yang didapat dari masing-masing *user*.

4. Pembahasan

A. Jumlah Alokasi Resource Block

Jumlah alokasi *resource block* rata-rata *user* ke-1 hingga *user* ke-5 pada ketiga algoritma, tampak pada tabel 1, tabel 2 dan tabel 3 berikut ini:

Tabel 2. Alokasi Resource Block Algoritma Maximum C/I

User ke -	Skenario Jumlah User			
	5 user	10 User	20 User	40 User
1	3.3	2.49	1.22	0.63
2	3.16	2.59	1.23	0.71
3	3.17	2.44	1.2	0.58
4	3.2	2.5	1.29	0.63
5	3.23	2.59	1.35	0.67

Tabel 3. Alokasi Resource Block Algoritma Proportional Fair

User ke -	Skenario Jumlah User			
	5 user	10 User	20 User	40 User
1	3.3	2.7	1.33	0.52
2	3.16	2.52	1.16	0.73
3	3.17	2.51	1.39	0.66
4	3.2	2.6	1.16	0.63
5	3.23	2.53	1.28	0.66

Tabel 4. Alokasi Resource Block Algoritma dengan Batasan Daya dan QoS

User ke -	Skenario Jumlah User			
	5 user	10 User	20 User	40 User
1	3.3	2.82	1.6	0.63
2	3.16	2.52	1.16	0.64
3	3.17	2.1	1.18	0.68
4	3.2	2.53	1.05	0.42
5	3.23	2.43	1.16	0.71

Berdasarkan tabel diatas, rata-rata alokasi *resource block* pada ketiga algoritma mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya *user* yang ada. Hal ini dikarenakan ketersediaan *resource block* eNodeB terbatas,

sedangkan user yang menggunakan layanan semakin banyak. Saat skenario 40 user, ketiga algoritma telah mencapai rata-rata dibawah nilai 1. Hal ini menunjukkan bahwa proses alokasi sudah buruk saat jumlah user mencapai 40. Resource block minimum yang boleh dialokasikan pada user adlah 1, sehingga dibawah itu tidak dapat dialokasikan.

B. *Throughput User*

Hasil throughput rata-rata user dengan Algoritma dengan Batasan Daya dan QoS tampak pada tabel 5. Nilai yang diambil pada user ke-1 hingga user ke-5 dengan skenario pertambahan jumlah user hingga 40 user.

Tabel 5. Throughput rata-rata pada user ke-1 hingga user ke-5 pada Alogritma dengan Batasan Daya dan QoS

User ke -	Skenario Jumlah User			
	5 user	10 User	20 User	40 User
1	1.8	1.96	1.5	0.6
2	1.83	1.78	1.05	0.61
3	2.14	1.35	1.14	0.68
4	2.11	2.00	0.84	0.41
5	2.08	1.84	1.05	0.69

Hasil throughput rata-rata user dengan Algoritma dengan Batasan Daya dan QoS, nilainya semakin menurun seiring dengan bertambahnya user. Hal ini dikarenakan perolehan throughput user bergantung pada perolehan resource blocknya. Apabila rata-rata penerimaan resource blocknya menurun, maka rata-rata throughput user tersebut akan menurun juga.

C. *Power Receive user*

Hasil power receive user pada penelitian ini ditampilkan dalam tabel 6. Nilai yang diambil pada ketiga algoritma penjadwalan dengan mengamati pada user ke-1 hingga user ke-5

Tabel 6. Power Receive rata-rata User ke-1 hingga User ke-5 Pada Semua Algoritma Penjadwalan

Algoritma Penjadwalan	Power Receive Rata-rata User (dBm)				
	User 1	User 2	User 3	User 4	User 5
Maximum C/I	-84.63	-84.6	-84.94	-85.22	-84.46
Proportional Fair	-84.14	-84.86	-84.57	-85.19	-84.07
Algoritma dengan batasan daya dan QoS	-94.34	-94.1	-87.93	-91.23	-91.75

Pada tabel 6 tampak user dengan algoritma dengan batasan daya dan QoS mendapatkan power lebih rendah, hal ini dikarenakan pada algoritma tersebut user memiliki redaman lebih tinggi saat simulasi, sehingga perolehan daya yang terjadi juga sangat rendah nilainya. Sedangkan perolehan daya paling baik pada algoritma proportional fair, hal ini karena algoritma ini mengalokasikan daya secara adil untuk semua user-nya, sehingga user dapat memperoleh daya yang merata.

D. *Fairness*

D.1 *Fairness Resource Block*

Pada fairness ini, nilai diperoleh berdasarkan alokasi resource block yang diperoleh masing-masing user pada skenario 5 user, 10 user, 20 user, dan 40 user. Nilai yang dihasilkan tampak pada tabel 7 di bawah ini:

Tabel 7. *FairnessUser* berdasarkan Alokasi Resource Block dan Peningkatan Jumlah User

Algoritma Penjadwalan	Fairness Alokasi Resource Block			
	5 User	10 User	20 User	40 User
Maximum C/I	0.95	0.86	0.63	0.41
Proportional Fair	0.95	0.89	0.67	0.45
Algoritma dengan	0.95	0.76	0.47	0.33

batasan daya dan QoS				
----------------------	--	--	--	--

Pada tabel 7 tampak bahwa user dengan algoritma proportional fair lebih tinggi nilai fairnessnya dibandingkan dengan kedua algoritma lainnya. Hal ini karena kedua algoritma lainnya tidak mengutamakan keadilan saat mengalokasikan resource blocknya.

D.2 Fairness Throughput

Nilai fairness ini diperoleh dengan mengamati perolehan throughput rata-rata semua user pada skenario 5 user, 10 user, 20 user dan 40 user. Nilai yang diperoleh tampak pada tabel 8 ini:

Tabel 8. *Fairness User* berdasarkan Throughput dan Peningkatan Jumlah User

Algoritma Penjadwalan	<i>Fairness Throughput</i>			
	5 User	10 User	20 User	40 User
Maximum C/I	0.94	0.86	0.63	0.41
Proportional Fair	0.95	0.89	0.67	0.45
Algoritma dengan batasan daya dan QoS	0.90	0.74	0.45	0.33

Pada tabel 8 algoritma proportional fair mendapatkan nilai fairness lebih tinggi dibandingkan kedua algoritma lainnya, karena algoritma ini mengalokasikan resource block secara adil, sehingga throughputnya pun merata pada semua user.

D.3 Fairness Power Receive

Nilai fairness ini diperoleh berdasarkan power receive pada semua user dengan menggunakan ketiga algoritma penjadwalan. Nilai ini berubah seiring dengan skenario penambahan user, seperti tampak pada tabel 9 di bawah ini:

Tabel 9. *Fairness User* berdasarkan Power Receive dan Peningkatan Jumlah User

Algoritma Penjadwalan	<i>Fairness Power Receive</i>			
	5 User	10 User	20 User	40 User
Maximum C/I	0.999	0.97	0.75	0.47
Proportional Fair	0.999	0.98	0.79	0.5
Algoritma dengan batasan daya dan QoS	0.996	0.87	0.53	0.35

Pada tabel 9 user dengan algoritma proportional fair mendapatkan nilai paling tinggi dibandingkan dengan yang lain dikarenakan algoritma ini mengutamakan keadilan dalam proses pengalokasiannya..

5. Kesimpulan

Sesuai dengan simulasi dan analisis yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Alokasi resource block pada sistem:

Pada algoritma *Maximum C/I*, nilai rata-rata resource block yang diperoleh pada skenario 40 user, paling tinggi pada user-2 = 0.71. User-2 memiliki nilai tertinggi dibandingkan keempat user lainnya pada skenario 5 user. Sedangkan pada algoritma *Proportional Fair*, rata-rata resource block yang diperoleh terbanyak pada user-2 = 0.73. Sama halnya dengan maximum C/I, user ini memperoleh alokasi tertinggi dikarenakan kondisi kanalnya yang bagus. Meski begitu, algoritma proportional fair tetap mempertimbangkan user lain untuk memperoleh alokasi resource block. Pada algoritma dengan batasan daya dan QoS perolehan terbanyak pada user5 = 0.71. Hal ini dikarenakan algoritma ini tidak mengutamakan kondisi kanal, tetapi lebih mengutamakan trafik yang digunakan user tersebut. Di sini user ke-5 memiliki prioritas trafik lebih tinggi dibandingkan user lainnya, sehingga dapat memiliki alokasi paling tinggi.

2. Nilai throughput rata-rata user pada masing-masing algoritma pada skenario dengan 40 user adalah:

Algoritma maximum C/I, user 2 memperoleh throughput paling tinggi dengan nilai 0.72 Mbps. Algoritma proportional Fair, user tertinggi throughput pada user 2 sebanyak 0.12 Mbps. Algoritma dengan batasan daya dan QoS, perolehan tertinggi pada user 5 dengan nilai rata-rata 0.69 Mbps. Dalam hal perolehan throughput hampir sama hasilnya dengan perolehan resource blocknya. Hal ini karena, semakin banyak resource yang diperoleh user tersebut, maka semakin besar pula throughput yang diperoleh.

3. Nilai *power receive user* UE adalah sebagai berikut:

Pada algoritma *Maximum C/I* nilai *power receive* paling baik pada user 5 = -84.46 dBm. Pada algoritma *Proportional Fair* nilai *power receive user* 5 paling baik dengan nilai -84.07 dBm. Pada algoritma dengan batasan daya dan QoS nilai *power receive user* 3 = -87.93 dBm. Perolehan *power receive* rata-rata user tersebut berbeda-beda dikarenakan jarak user dengan eNodeB juga berbeda-beda. Pada Algoritma dengan batasan daya dan QoS paling rendah dibandingkan dengan kedua algoritma lainnya, hal ini dikarenakan saat simulasi user ke-5 redamannya besar, sehingga *power receive*nya menjadi kecil.

4. Berikut adalah nilai *fairness* pada masing-masing algoritma pada skenario 40 user:

- a. *Fairness* berdasarkan alokasi *resource block*, *Maximum C/I* = 0.41, *Proportional Fair* = 0.45, Algoritma dengan batasan daya dan QoS = 0.33. Nilai paling tinggi diperoleh algoritma proportional fair. Hal ini dikarenakan algoritma tersebut lebih mengutamakan perolehan yang adil dalam mengalokasikan resource block untuk semua user-nya. Sedangkan algoritma maximum C/I, algoritma dengan batasan daya dan QoS keduanya tidak mementingkan masalah keadilan dalam mengalokasikan.
- b. *Fairness* berdasarkan throughput rata-rata user, *Maximum C/I* = 0.41, *Proportional Fair* = 0.45, Algoritma dengan batasan daya dan QoS = 0.33. Nilai *fairness* berdasarkan throughput sama halnya dengan *fairness* berdasarkan alokasi resource block, karena jika resource blocknya dapat dibagi secara adil, maka throughputnya juga tersebar merata.
- c. *Fairness* berdasarkan *power receive user*, *Maximum C/I* = 0.47, *Proportional Fair* = 0.5, Algoritma dengan batasan daya dan QoS = 0.35. Pada nilai *power receive* pun algoritma proportional fair masih paling tinggi dibandingkan kedua algoritma lainnya. Hal ini sesuai dengan cara kerja algoritma proportional fair tersebut yang mengutamakan keadilan dalam mengalokasikan resource.

Referensi:

- [1] 3GPP Technical Specification 33.401, *System Architecture Evolution (SAE): Security Architecture (Release 8)*, www.3gpp.org
- [2] 3GPP Technical Specification 36.300, *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN); Overall description; Stage 2 (Release 8)*, www.3gpp.org
- [3] 3GPP TS 36.211. "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation"
- [4] El-Gawad, Mohamed A. Abd, "Lte Qos Dynamic Resource Block Allocation with Power Source Limitation and Queue Stability Constraints". Cairo, Egypt. 2013
- [5] John Wiley & Sons, "LTE for UMTS: OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access Harri Holma and Antti Toskala". 2009
- [6] Kurniawan, Uke., dkk. "Fundamental Teknologi Seluler LTE". Rekayasa Sains, Bandung, 2012.
- [7] Myung, Hyung G., dkk. "Channel-Dependent Scheduling of an Uplink SC-FDMA System with Imperfect Channel Information". Qualcomm/Flarion Bedminster, NJ, USA
- [8] Parag, Parimal., dkk. "A Subcarrier Allocation Algorithm for OFDMA using Buffer and Channel State Information". IEEE. 2005.
- [9] Proakis, John. Massoud Salehi. "Digital Communications". McGraw-Hill Education, 6 November, 2007.
- [10] S. Sesia, I. Toufik, M. Baker (eds), *LTE – The UMTS Long Term Evolution: From Theory to Practice*, Wiley, 2009
- [11] Sadr, Sanam., dkk. "Radio Resource Allocation Algorithms for the Downlink of Multiuser OFDM Communication Systems". IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 11, No. 3, Third Quarter. 2009.