

## ANALISIS PERFORMANSI ALOKASI SUMBER DAYA DENGAN *BARGAINING ALGORITHM* PADA JARINGAN KOMUNIKASI *RELAY-ASSISTED DEVICE-TO-DEVICE*

### PERFORMANCE ANALYSIS OF RESOURCE ALLOCATION WITH *BARGAINING ALGORITHM* FOR *RELAY-ASSISTED DEVICE-TO-DEVICE* COMMUNICATION NETWORKS

Deni Maulana Nugraha<sup>1</sup>, Dr. Arfianto Fahmi, S.T., M.T.<sup>2</sup>, Vinsensius Sigit W.P., S.T., M.T.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom  
<sup>1</sup>dmnugraha@students.telkomuniversity.ac.id, <sup>2</sup>arfiantof@telkomuniversity.co.id,  
<sup>3</sup>vinsensiusvsw@telkomuniversity.ac.id

#### Abstrak

Tugas Akhir ini melakukan studi atas komunikasi *relay-assisted Device-to-Device (D2D) underlay* pada jaringan LTE. Tugas Akhir ini mengusulkan *Nash Bargaining* sebagai metode *power control* pada perangkat D2D. Tugas Akhir ini memandang *Nash Bargaining* sebagai skema yang mampu melakukan kontrol daya terhadap D2D. Sehingga ketika D2D dan CU terindikasi berbagi *resource block* yang sama, D2D tidak memberikan interferensi yang terlalu tinggi kepada *Cellular User (CU)*. Untuk membatasi interferensi akibat pemakaian *resource block* yang sama, Tugas Akhir ini menggunakan *Nash Bargaining* sebagai metode *power control*. *Nash Bargaining* bekerja dengan melakukan tawar-menawar antara utilitas dengan *data rate* untuk menentukan besar daya transmit setiap D2D. Selanjutnya, Algoritma *Greedy* dan *Random Allocation* dipilih untuk melakukan alokasi *resource block*. Algoritma diujikan pada skenario variasi jumlah pasangan D2D. Skema yang diajukan dievaluasi ke dalam bentuk simulasi dengan menggunakan *software* komputer. Hasil simulasi menunjukkan bahwa algoritma yang menggunakan *Nash Bargaining* sebagai metode *power control* memiliki efisiensi energi yang lebih baik dari algoritma tanpa *power control*, karena *Nash Bargaining* mampu menjaga daya transmit tetap rendah tanpa mengurangi *data rate* secara signifikan. Hasil penelitian ini diharapkan bermanfaat besar untuk pengembangan teknologi komunikasi D2D.

Kata kunci : *Device-to-Device, Nash Bargaining, power control, efisiensi energi*

#### Abstract

This Final Project conducts a study of underlay relay-assisted Device-to-Device (D2D) communication on LTE networks. This Final Project proposes Nash Bargaining as a power control method on D2D devices. This Final Project views Nash Bargaining as a scheme that is able to control power over D2D. So when D2D and CU are indicated to share the same resource block, D2D does not give too much interference to Cellular Users (CU). To limit interference caused by using the same resource block, this Final Project uses Nash Bargaining as a power control method. Nash Bargaining works by bargaining between the utility and the data rate to determine the amount of transmit power per D2D. Next, the Greedy Algorithm and Random Allocation are chosen to allocate block resources. The algorithm is tested on variations in the number of D2D pairs. The proposed scheme is evaluated in the simulations using computer software. Simulation results show that the algorithm that uses Nash Bargaining as a power control method has better energy efficiency than the algorithm without power control, because Nash Bargaining is able to keep transmit power low without significantly reducing the data rate. The results of this study are expected to be useful for the development of D2D communication technology.

Keywords: *Device-to-Device, Nash Bargaining, Power Control, energy efficiency.*

## 1. Pendahuluan

### 1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, teknologi informasi dan komunikasi semakin berkembang ke arah yang lebih baik. Khususnya perkembangan dalam bidang teknologi komunikasi seluler yang kini telah memasuki generasi ke lima atau yang biasa disebut dengan teknologi *Fifth Generation (5G)*. Perkembangan teknologi komunikasi seluler berbanding lurus dengan bertambahnya jumlah pengguna. Sedangkan jaringan akses nirkabel memiliki keterbatasan sumber daya, seperti frekuensi, daya, dan waktu. Hal ini akan berdampak pada semakin tingginya tingkat kepadatan *traffic* dalam jaringan. Peningkatan *traffic* ini akan mengakibatkan pembebanan pada jaringan inti. Oleh karena itu, kepadatan *traffic* harus diturunkan untuk mengurangi beban pada jaringan inti. Salah satu upaya menurunkan kepadatan *traffic* adalah dengan melakukan pertukaran data tanpa melewati jaringan inti terlebih dahulu. Konsep ini merupakan salah satu teknologi yang digunakan dalam pengembangan teknologi 5G, dan dikenal dengan istilah

komunikasi *Device-to-Device* (D2D) [1]. D2D merupakan sebuah teknologi yang memungkinkan *User Equipment* (UE) dengan jarak berdekatan untuk berkomunikasi secara langsung tanpa melalui *Base Station* (BS) atau *evolved Node B* (eNodeB). Sehingga memangkas konsep lalu lintas jaringan sebelumnya yang harus melewati jaringan inti terlebih dahulu. Hal ini berarti teknologi D2D dapat mengurangi beban lalu lintas data yang berada pada cakupan eNodeB [2]. Berdasarkan jenis jaringan, komunikasi D2D dibedakan ke dalam dua jenis, yaitu *underlay* dan *overlay*. D2D *underlay* merupakan jenis komunikasi D2D yang menggunakan spektrum yang sama dengan spektrum seluler. Sedangkan pada *overlay*, komunikasi D2D memiliki spektrum khusus. Tugas Akhir ini mengambil fokus pada komunikasi D2D *underlay*. Sehingga D2D dapat meningkatkan efisiensi spektrum sistem, karena D2D dapat menggunakan *resource block* yang sama dengan CU. Penggunaan komunikasi D2D bukan tanpa kendala, masalah utamanya adalah interferensi akibat pemakaian *resource block* yang sama antara pengguna seluler dengan pengguna D2D [3][4]. Oleh karena itu, pasangan perangkat D2D harus dapat mengendalikan daya transmisi secara efektif. Masalah lain yang terdapat pada sistem komunikasi D2D adalah jarak jangkauan komunikasi. Karena keterbatasan daya transmisi dan kendala interferensi, jangkauan komunikasi D2D menjadi lebih terbatas dari sistem komunikasi pada umumnya. Oleh karena itu, untuk meningkatkan jangkauan komunikasi pada pasangan D2D, maka digunakan jaringan komunikasi D2D berbasis relai atau *relay-assisted* D2D. Dengan memanfaatkan relai sebagai terminal transmisi, jarak jangkauan komunikasi dapat ditingkatkan [5][6]. Walaupun menggunakan relai, interferensi tetap menjadi masalah utama dalam sistem komunikasi D2D. Berdasarkan hasil penelitian [2][7], *bargaining algorithm*, *Nash Bargaining* lebih unggul dibandingkan dengan algoritma pembandingnya. *Nash Bargaining* bekerja dengan melakukan tawar-menawar antara utilitas dengan *data rate* untuk menentukan besar daya transmit setiap D2D. Sehingga *Nash Bargaining* mampu menjaga daya transmit tetap rendah tanpa mengurangi *data rate* secara signifikan. Oleh karena itu, Tugas Akhir ini menggunakan *Nash Bargaining* sebagai metode *power control* untuk mengendalikan daya transmisi. Selanjutnya, Algoritma *Greedy* dan *Random Allocation* dipilih untuk melakukan alokasi *resource block*. Hasil simulasi dari skema yang diajukan akan ditinjau berdasarkan empat parameter, yaitu *data rate*, efisiensi spektrum, efisiensi energi, dan *fairness*. Skema yang diajukan dievaluasi ke dalam bentuk simulasi.

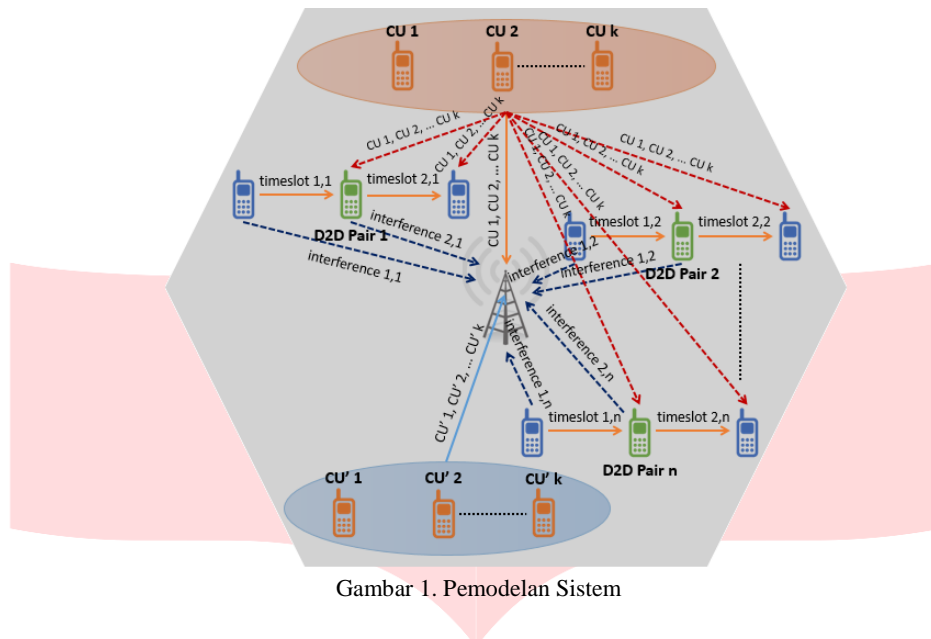
## 2. Dasar Teori dan Metodologi

D2D merupakan teknologi komunikasi yang memungkinkan UE dengan jarak berdekatan untuk melakukan komunikasi secara langsung tanpa melalui BS atau eNodeB, dengan menggunakan *resource block* yang sama dengan *Regular Cellular User* (RCU). Komunikasi D2D dapat meningkatkan efisiensi, mengurangi *delay* transmisi, *offload traffic*, dan mengurangi tingkat kepadatan *traffic* yang membebani jaringan inti. D2D menggunakan mode komunikasi *Reusing Resource With Direct Link*. Mode ini memungkinkan *user* D2D untuk saling berbagi *resource block* yang sama dengan RCU. Mode ini menghasilkan kinerja jaringan yang lebih baik, khususnya pada efisiensi spektrum. Terutama ketika kondisi beban *traffic* tinggi. Namun, pemakaian *resource block* yang sama dapat berpotensi menyebabkan interferensi, baik bagi *user* D2D maupun CU. Oleh karena itu, dibutuhkan manajemen yang efektif untuk menangani interferensi. Skema yang diajukan untuk membatasi interferensi, yaitu dengan metode *power control*. *Power control* merupakan metode yang digunakan untuk mengurangi interferensi dengan membatasi daya transmisi. Pembatasan daya transmisi harus tetap memperhatikan parameter QoS. Oleh karena itu, sulit untuk menentukan margin yang tepat karena margin yang terlalu rendah dapat menyebabkan tidak tercapainya minimum SINR threshold. Sedangkan margin yang terlalu tinggi, berpotensi mengakibatkan interferensi yang berakibat pada berkurangnya jumlah RCU yang dapat berbagi *resource block* dengan D2D UE.

Penelitian ini dilakukan untuk melihat kinerja dari algoritma alokasi sumber daya yang akan dirancang. Model sistem yang dirancang merupakan sistem komunikasi D2D *underlay* pada jaringan LTE *uplink*. Parameter performansi yang akan diamati adalah *data rate*, *fairness*, efisiensi spektrum, dan efisiensi energi. Sistem dimodelkan sebagai *single cell*, dan proses alokasi hanya dilakukan pada sel yang diamati. Sehingga, untuk mengurangi kompleksitas, diasumsikan tidak ada pengaruh interferensi dari cell lain.

### 2.1 Desain Model Sistem

Sistem dimodelkan sebagai sebuah *single cell* pada jaringan LTE *underlay* dengan radius *cell* 500 meter dan frekuensi *carrier* 1800 MHz. Untuk mengurangi kompleksitas, *cell* dianggap tidak mendapatkan pengaruh interferensi dari *cell* lain, karena setiap *cell* memiliki frekuensi *carrier* yang berbeda. *Cell* terdiri dari beberapa UE yang dilengkapi antena omnidireksional dan satu eNodeB yang terletak di titik pusat *cell*. Terdapat tiga jenis UE, yaitu seluler UE, D2D UE, dan relai UE. Relai UE merupakan pengguna yang berada pada kondisi *off*, atau tidak sedang melakukan proses pengiriman dan penerimaan data apapun pada saat itu. Jumlah seluler UE yang tidak berbagi *resource block* dengan D2D, dinotasikan dengan  $CU' 1, CU' 2, \dots, CU' k$ . Sedangkan untuk jumlah seluler UE yang berbagi *resource block* dengan D2D dinotasikan dengan  $CU 1, CU 2, \dots, CU k$ , dan jumlah pasangan D2D dinotasikan dengan  $D2D pair 1, D2D pair 2, \dots, D2D pair n$ .



Gambar 1. Pemodelan Sistem

Setiap perangkat D2D dapat berfungsi sebagai *transmitter* dan *receiver*, serta dapat berkomunikasi secara bersamaan di waktu yang sama. Komunikasi langsung tidak dapat dilakukan, karena pasangan D2D tidak memenuhi batasan jarak. Oleh karena itu, untuk memenuhi batasan jarak tersebut maka digunakan relai. Dengan ketentuan relai berada di tengah-tengah antara D2D *transmitter* dan D2D *receiver*.

Dalam model sistem yang digunakan, sistem komunikasi hanya menggunakan satu relai untuk setiap komunikasi D2D yang terjadi. Sehingga untuk setiap komunikasi terdapat dua *timeslot*. *Timeslot* pertama saat proses mengirim data dari *transmitter* ke relai, dan *timeslot* kedua ketika proses mengirim data dari relai ke *receiver*. Kedua *timeslot* dapat menggunakan *sub-channel* yang sama, karena setiap *timeslot* tidak saling berhubungan. Untuk meningkatkan efisiensi spektrum, maka *timeslot* kedua menggunakan *resource block* yang sama dengan *resource block* yang digunakan pada *timeslot* pertama. Dengan asumsi tidak ada interferensi antar *device* yang sama.

Gambar 1 menunjukkan keadaan ketika pasangan D2D berbagi sumber daya *uplink* dengan CU. Dalam *timeslot* ini, D2D yang berperan sebagai *transmitter* mentransmisikan data menuju relai. Di waktu yang sama, CU mentransmisikan data ke eNodeB. Sehingga CU berpotensi mengakibatkan interferensi pada relai UE. Sedangkan eNodeB menunjukkan potensi interferensi dari kedua *transmitter* D2D. Interferensi yang terlalu besar dapat menurunkan rasio SINR ke level yang sangat rendah, sehingga akan menurunkan performansi dari sistem secara keseluruhan. Selain itu, interferensi dapat merusak keutuhan sinyal informasi. Oleh karena itu, D2D harus membatasi daya transmitnya agar tidak menghasilkan interferensi yang terlalu besar sehingga performansi dari CU dapat terjaga.

## 2.2 Pembangkitan CSI

Model propagasi *channel* menggunakan model persamaan *pathloss* dan *gain* dengan model *Urban Micro System* (UMi). Dengan kondisi *channel* hanya dipengaruhi *small scale fading* yang terdistribusi *Rayleigh*. Maka persamaan *pathloss* antara *transmitter a* dan *receiver b* untuk kondisi *Urban Micro* (UMi) berdasarkan ITU-R M.2135-1 adalah

$$L_{a,b} = 36,7 \log_{10}(d_{a,b}) + 22,7 + 26 \log_{10}(f_c) \tag{1}$$

dalam dB, dengan  $d_{a,b}$  adalah jarak antara *transmitter a* dan *receiver b* dalam meter, dan  $f_c$  adalah frekuensi *carrier* dalam GHz. Sehingga, *gain channel* antara *transmitter a* dan *receiver b* dinyatakan ke dalam fungsi jarak yang dipengaruhi *pathloss* dan *small scale fading*

$$G_{a,b} = L_{a,b} \times h_{a,b} \tag{2}$$

dalam dBi, dengan  $h_{a,b}$  adalah *small scale fading* antara *user a* dan *b* yang terdistribusi *Rayleigh* dan bernilai acak.

*Channel State Information* (CSI) mengacu kepada kondisi atau keadaan kanal pada sistem komunikasi. Pembangkitan CSI merupakan tahap yang dilakukan sebelum melakukan alokasi untuk mendapatkan informasi

mengenai kondisi *channel user*. Dalam pembakitan CSI ada beberapa nilai yang perlu diperhatikan, yaitu *gain* dan *loss* yang terjadi. Gain yang diperhitungkan pada penelitian ini adalah gain antara *transmitter* dan *receiver*. Sedangkan untuk *loss* adalah *pathloss* dan *small scale fading* yang terdistribusi *Rayleigh*. Kualitas suatu *channel* diberikan dalam bentuk SINR. Nilai SINR *user i* akibat interferensi *user c* pada setiap *resource block* diperoleh dengan

$$\gamma_i^c = \frac{p_i \times G_{a,b}}{P_N + p_i^c \times G_{a,b}^c} \quad (3)$$

dengan  $p_i$  adalah daya transmit *user i*,  $G_{a,b}$  adalah *gain channel* antara *transmitter a* dan *receiver b*,  $P_N$  adalah daya *noise*,  $p_i^c$  adalah daya transmit dari penginterferensi *user i*, serta  $G_{a,b}^c$  adalah *gain channel* penginterferensi antara *transmitter a* dan *receiver b*. Sedangkan untuk menghitung laju transmisi *user i* akibat interferensi *user c* dapat diperoleh dengan

$$r_i^c = B \log_2(1 + \gamma_i^c) \quad (4)$$

dengan  $B$  merupakan *bandwidth resource block* dalam Hz. Nilai CSI pada *timeslot t* disimpan pada sebuah matriks CSI dengan ukuran  $n \times k$  dengan  $n$  merupakan jumlah pasangan D2D dan  $k$  merupakan jumlah CU, matriks CSI  $n \times k$  dapat dinyatakan dengan

$$CSI(t) = \begin{pmatrix} \gamma_{1,1} & \cdots & \gamma_{1,k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \gamma_{n,1} & \cdots & \gamma_{n,k} \end{pmatrix} \quad (5)$$

### 2.3 Metode Power Control dengan Nash Bargaining

Berdasarkan Gambar 1 diasumsikan bahwa dua pasangan D2D menggunakan kembali sumber daya CU sehingga menyebabkan terjadinya interferensi. Maka diperlukan manajemen alokasi sumber daya untuk membatasi daya transmisi pasangan D2D. Namun, ketika daya transmisi dibatasi, hal ini berpotensi menurunkan laju transmisi. Oleh karena itu, dibutuhkan algoritma yang tepat dalam mengontrol daya transmisi, tanpa mengabaikan tingkat kepuasan pelanggan. Utilitas *user i* pada *timeslot t* dapat dinyatakan dengan [2]

$$U_i^t = \sum_{c=1}^k w_r \times r_i^c - w_p \times p_i \quad (6)$$

$$p_{min} \leq p_i \leq p_{max}, \forall i$$

$$p_i \geq p_{min}, \forall i$$

$$\gamma_i \geq I_{th}$$

dengan  $w_r$  dan  $w_p$  adalah *weight of rate* dan *weight of power*,  $r_i^c$  adalah *data rate* pasangan D2D ke- $i$ ,  $p_i$  adalah daya transmisi pasangan D2D ke- $i$ , serta  $I_{th}$  adalah *SINR threshold*.

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Nash Bargaining* sebagai metode *Power Control*. *Nash Bargaining* menentukan besar daya transmit berdasarkan kondisi *channel* terbaik yang ditinjau berdasarkan perolehan nilai utilitas tertinggi untuk setiap *channel* dengan daya transmit tertentu. Nilai utilitas *Nash Bargaining* dinyatakan dengan [2]

$$U_{NBS} = \prod_{i=1}^2 (U_i^t - U_i^o) \quad (7)$$

Dengan  $U_i$  merupakan besar utilitas setelah negosiasi dan  $U_i^o$  merupakan utilitas sebelum negosiasi, dengan asumsi nilai  $U_i^o$  sama dengan nol.

### 2.4 Algoritma Alokasi Resource block

Penelitian ini menggunakan Algoritma *Greedy* dan Algoritma *Random Allocation* untuk melakukan alokasi *resource block*. Algoritma *Greedy* merupakan algoritma alokasi *resource block* yang mengalokasikan *resource block* hanya kepada user dengan nilai CSI tertinggi [13]. Prinsipnya, "take what we can take", artinya alokasi *resource block* dengan Algoritma *Greedy* akan membuat *user* memilih *resource block* dengan nilai CSI terbesar tanpa mempedulikan perolehan *resource block* untuk *user* yang lain. Proses alokasi Algoritma *Greedy*, yaitu dengan melihat kondisi setiap *channel* yang tersedia untuk masing-masing *user*. Sebelum alokasi, *user* diurutkan berdasarkan waktu kedatangan. *User* dengan waktu kedatangan tercepat akan memilih *resource block* dengan CSI paling besar dari seluruh *channel* yang tersedia. Setiap *resource block* hanya dapat dialokasikan untuk satu *user*, maka *resource block* yang sudah dialokasikan tidak dapat digunakan oleh *user* yang lain. Sedangkan Algoritma *Random Allocation* merupakan algoritma alokasi yang mengalokasikan *resource block* secara acak tanpa

memperhatikan kebijakan tertentu. Algoritma ini umumnya tidak benar-benar diimplementasikan dan hanya dipakai sebagai pembanding pada suatu penelitian.

## 2.5 Proses Simulasi

Simulasi pada penelitian ini menggunakan *Nash Bargaining* sebagai metode *power control*, untuk mengendalikan daya transmit dari D2D transmitter. Selain itu, dalam alokasi *resource block*, penelitian ini menggunakan Algoritma *Greedy* dan Algoritma *Random Allocation*. Kinerja skema ditinjau berdasarkan empat parameter, yaitu *data rate*, *fairness*, efisiensi spektrum, dan efisiensi energi. Dengan skenario simulasi berdasarkan variasi jumlah pasangan D2D. Proses simulasi dilakukan berdasarkan parameter dan asumsi pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Simulasi

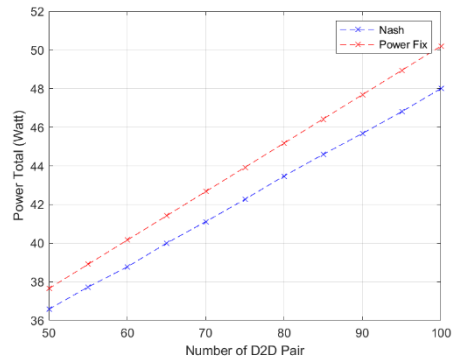
Parameter	Nilai
Radius Cell	500 meter
Cell Layout	Single Cell, Hexagonal
Radius D2D	100 - 140 meter
Jumlah D2D	50 - 100 pasangan D2D, dengan kenaikan sebesar 5
Jumlah CU	100 user
Frekuensi Carrier	1800 MHz
Bandwidth Resource block	180 KHz
Daya Pancar D2D	0 – 24 dBm
Daya Pancar CU	24 dBm
Daya Noise	-174 dBm
Weight of Rate	0.01
Weight of Power	2
SINR Threshold	7 dB
Model Pathloss	UMi
Jumlah TTI per Pengamatan	100

## 3. Hasil Simulasi dan Analisis

Penelitian ini akan meninjau skema dari algoritma *Greedy* dengan dan tanpa menggunakan pendekatan *Nash Bargaining* sebagai metode *power control*. Kinerja skema yang diajukan akan dievaluasi ke dalam bentuk simulasi dan ditinjau berdasarkan empat parameter, yaitu *data rate*, *fairness*, efisiensi spektrum, dan efisiensi energi. Proses simulasi dilakukan berdasarkan parameter dan asumsi pada Tabel 1. Pengujian dilakukan berdasarkan jumlah pasangan D2D dari 50 sampai 100 pasang D2D. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah pasangan D2D terhadap kinerja jaringan. Untuk meningkatkan keakuratan hasil, pada sekali pengamatan dilakukan 100 kali percobaan atau TTI.

### 3.1 Daya Total

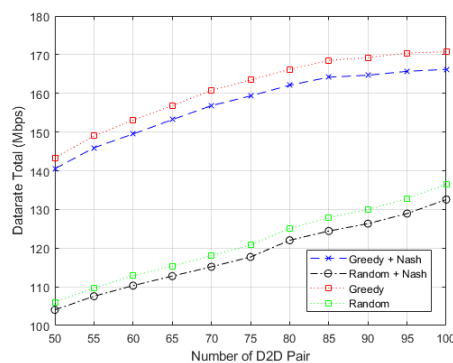
Daya total merupakan jumlah keseluruhan daya yang digunakan perangkat untuk proses transmisi. Terdapat dua jenis daya total, yaitu daya total ketika menggunakan *Nash Bargaining* sebagai metode *power control* dan daya total pada kondisi daya transmisi maksimum. Ketika tidak menggunakan *power control*, perangkat akan menggunakan daya transmisi maksimum, sebesar 24 dBm untuk setiap perangkat. Sedangkan ketika D2D menggunakan *power control*, daya transmisi dipilih antara 0-24 dBm. Oleh karena itu, *Nash Bargaining* mampu menghasilkan daya total yang lebih rendah karena dilakukan pemilihan daya transmisi. Perbandingan daya total dengan dan tanpa *power control* dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Perbandingan daya total berdasarkan variasi jumlah pasangan D2D

### 3.2 Data rate Total

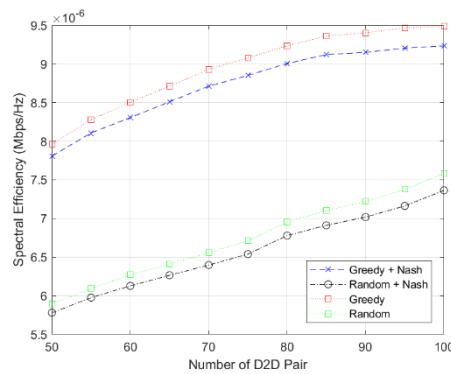
*Data rate* total merupakan jumlah keseluruhan *data rate* yang ada pada suatu sistem. Pada skenario variasi jumlah pasangan D2D, semakin banyak jumlah pasangan D2D artinya semakin banyak juga jumlah data yang ditransmisikan. Oleh karena itu, *data rate* total cenderung meningkat seiring bertambahnya jumlah pasangan D2D. *Data rate* total sangat berguna untuk mencari parameter performansi yang lain. *Data rate* total berbanding lurus dengan efisiensi energi dan efisiensi spektrum. Algoritma dengan *power control* memiliki *data rate* total yang cenderung lebih rendah dari algoritma tanpa *power control*. Dengan selisih perbandingan sebesar 3,9447 Mbps untuk Algoritma *Greedy* dan 3,0224 Mbps untuk Algoritma *Random Allocation*. Selain itu, karena Algoritma *Greedy* melakukan alokasi *resource block* berdasarkan pemilihan nilai CSI tertinggi, maka *data rate* total pada Algoritma *Greedy* lebih unggul dari Algoritma *Random Allocation* yang melakukan alokasi secara acak tanpa memperhatikan kondisi tertentu. Kurva perbandingan *data rate* total untuk setiap algoritma dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Perbandingan *data rate* total berdasarkan variasi jumlah pasangan D2D

### 3.3 Efisiensi Spektrum

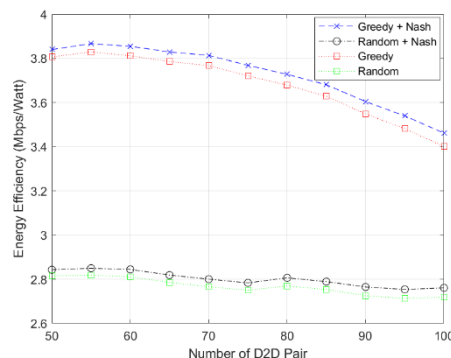
. Efisiensi Spektrum merupakan ukuran yang menyatakan jumlah data dalam bit yang dapat ditransmisikan per Hz. Semakin tinggi efisiensi spektrum, maka semakin baik, dan sistem dapat dikatakan efisien. Efisiensi spektrum berbanding lurus dengan *data rate* total, sehingga semakin tinggi *data rate* total, semakin tinggi pula efisiensi spektrum. *Data rate* total berbanding lurus dengan banyak jumlah pasangan D2D. Maka ketika jumlah pasangan D2D bertambah efisiensi spektrum juga semakin tinggi. Berdasarkan Gambar 4, Algoritma *Greedy* memiliki efisiensi spektrum yang lebih unggul dibandingkan Algoritma *Random Allocation*. Selain itu, algoritma tanpa *power control* juga memiliki efisiensi spektrum yang lebih unggul dari algoritma dengan *power control*. Kurva perbandingan efisiensi spektrum untuk setiap kenaikan *user* ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Perbandingan efisiensi spektrum berdasarkan variasi jumlah pasangan D2D

### 3.4 Efisiensi Energi

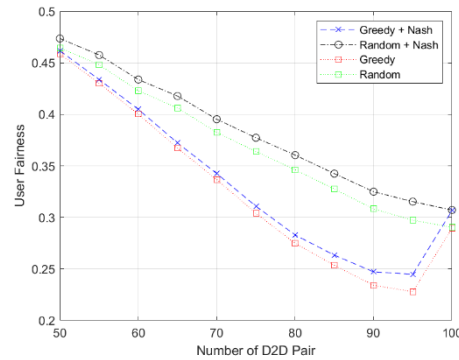
Efisiensi energi merupakan banyaknya data yang ditransmisikan untuk setiap 1 Watt. Efisiensi energi berbanding lurus dengan *data rate* total dan berbanding terbalik dengan daya total. Artinya semakin besar perbandingan antara *data rate* total dengan daya total, maka semakin besar efisiensi energi. Pada skenario variasi jumlah pasangan D2D, Algoritma *Greedy* memiliki efisiensi energi lebih tinggi dibandingkan dengan Algoritma *Random Allocation*. Efisiensi energi pada Algoritma *Greedy* cenderung turun, sedangkan pada Algoritma *Random Allocation* cenderung stabil dengan sedikit penurunan. Selain itu dengan mengorbankan *data rate*, algoritma yang menggunakan *Nash Bargaining* sebagai metode *Power Control*, memiliki efisiensi energi yang lebih baik karena rasio antara *data rate* total dengan daya total memiliki perbandingan yang lebih besar. Dengan selisih rata-rata efisiensi energi pada Algoritma *Greedy* sebesar 0,0479 Mbps/Watt dan 0.0352 Mbps/Watt untuk *Random Allocation*. Kurva perbandingan efisiensi energi untuk setiap algoritma dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Perbandingan efisiensi energi berdasarkan variasi jumlah pasangan D2D

### 3.5 Fairness

*Fairness* merupakan ukuran yang menyatakan tingkat keadilan perolehan *resource block* antar *user*. *Fairness* memiliki indeks skala dari 0 sampai 1, dengan nilai 1 yang berarti setiap *user* memperoleh *resource block* dengan nilai CSI yang sama. Pada skenario variasi jumlah pasangan D2D, *fairness* cenderung turun seiring bertambahnya jumlah pasangan D2D. Hal ini terjadi karena kedua algoritma melakukan alokasi *resource block* tanpa memperhatikan perolehan *resource block user* lain. Algoritma *Greedy* melakukan alokasi berdasarkan *resource block* dengan CSI tertinggi tanpa memperhatikan perolehan *resource block user* lain. Sedangkan Algoritma *Random Allocation* melakukan alokasi secara acak tanpa memperhatikan kebijakan tertentu. Algoritma dengan metode *power control* memiliki *fairness* lebih unggul dari algoritma tanpa *power control*. Perbandingan *fairness* untuk setiap algoritma dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perbandingan *fairness* berdasarkan variasi jumlah pasangan D2D

#### 4. Kesimpulan

Tugas Akhir ini telah melakukan studi terhadap *Nash Bargaining* sebagai metode *power control* yang berfungsi membatasi potensi interferensi dengan mengendalikan daya transmit pada D2D. *Nash Bargaining* melakukan alokasi daya transmit pada setiap D2D berdasarkan utilitas terbesar yang mungkin dipilih oleh pasangan D2D. Tugas Akhir ini mengkonfirmasi bahwa *Nash Bargaining* mampu menjaga daya transmit D2D tetap rendah tanpa mengurangi *data rate* secara signifikan.

Tugas Akhir ini fokus pada komunikasi relay-assisted D2D underlay di jaringan LTE, sehingga D2D dapat menggunakan *resource block* yang sama dengan CU. Alokasi *resource block* menggunakan Algoritma *Greedy* yang melakukan alokasi berdasarkan nilai CSI tertinggi tanpa mempedulikan perolehan *resource block* untuk *user* lain, dan *Random Allocation* yang melakukan alokasi secara acak. Kinerja skema yang diajukan dievaluasi ke dalam bentuk simulasi dengan skenario variasi jumlah pasangan D2D. Tugas Akhir ini mengkonfirmasi bahwa kenaikan jumlah pasangan D2D meningkatkan *data rate* total sistem dan nilai efisiensi spektrum, karena semakin banyak jumlah pasangan D2D berarti semakin banyak jumlah data yang dapat ditransmisikan.

Tugas Akhir ini juga menguji performansi *Nash Bargaining* sebagai metode *power control* untuk algoritma alokasi *resource block*. Berdasarkan simulasi, *Nash Bargaining* memiliki pengaruh yang sama terhadap kedua algoritma alokasi *resource block*. *Nash Bargaining* mampu membuat sistem memiliki nilai efisiensi energi yang lebih baik. Dengan konsekuensi mengakibatkan penurunan *data rate*. Hasil dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat dijadikan referensi pada penelitian komunikasi D2D kedepannya.

#### Daftar Pustaka

- [1] F. M. Qatan and R. E. Ahmed, "Performance comparison of tcp algorithms for d2d communication in lte-a," in 2017 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA). IEEE, 2017, pp. 1–4.
- [2] T. Thepsongkroh, P. Phunchongharn, and K. Akkarajitsakul, "A game theoretical resource allocation for relay-assisted device-to-device communication networks," in 2017 International Conference on Information, Communication and Engineering (ICICE). IEEE, 2017, pp. 484–487.
- [3] F. Wang, C. Xu, L. Song, Q. Zhao, X. Wang, and Z. Han, "Energy-aware resource allocation for device-to-device underlay communication," in 2013 IEEE international conference on communications (ICC). IEEE, 2013, pp. 6076–6080.
- [4] L. Wang, T. Peng, Y. Yang, and W. Wang, "Interference constrained d2d communication with relay underlying cellular networks," in 2013 IEEE 78th vehicular technology conference (VTC Fall). IEEE, 2013, pp. 1–5.
- [5] S. Wen, X. Zhu, Y. Lin, Z. Lin, X. Zhang, and D. Yang, "Achievable transmission capacity of relay-assisted device-to-device (d2d) communication underlay cellular networks," in 2013 IEEE 78th Vehicular Technology Conference (VTC Fall). IEEE, 2013, pp. 1–5.
- [6] C. Zhengwen, Z. Su, and S. Shixiang, "Research on relay selection in device-to-device communications based on maximum capacity," in 2014 International Conference on Information Science, Electronics and Electrical Engineering, vol. 3. IEEE, 2014, pp. 1429–1434.
- [7] T. Liu and G. Wang, "Resource allocation for device-to-device communications as an underlay using *Nash Bargaining* game theory," in 2015 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC). IEEE, 2015, pp. 366–371.