

ALOKASI SUMBER DAYA RADIO PADA JARINGAN RADIO KOGNITIF MENGUNAKAN ALGORITMA HUNGARIAN

RADIO RESOURCE ALLOCATION IN COGNITIVE RADIO NETWORK USING HUNGARIAN ALGORITHM

Arief Syabakdan Wardianto¹, Dr.Nachwan Mufti Adriansyah, S.T., M.T.², Vinsensius Sigit Widhi
Prabowo, S.T., M.T.³

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

¹ariefsyabakdan@student.telkomuniversity.ac.id, ²nacwghanma@telkomuniversity.ac.id, ³
vinsensiusvsw@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Salah satu penerapan komunikasi dari jaringan 5G di masa depan adalah dengan menerapkan *Cognitive Radio Network* (CRN) kedalam jaringan komunikasi multi-tier heterogen yang terdiri dari komunikasi sel kecil antara *primary user* dengan *secondary user*. CRN dikembangkan karena dapat menghubungkan langsung antar perangkat dengan perangkat lainnya tanpa melalui *Base Transceiver Station* (BTS) dan bekerja sebagai off-load *Evolved Node B* (eNB). Penerapan CRN sangat berguna untuk ke depannya walaupun memiliki beberapa masalah dengan di antaranya ialah interferensi terhadap frekuensi perangkat lain didalam sel yang sama. Hal tersebut dapat sangat mempengaruhi *Quality of Service* (QoS) dalam sistem komunikasi CRN sehingga dibutuhkan tahapan distribusi alokasi resource yang dapat meningkatkan efisiensi energi, efisiensi spektral, data rate, dan mengurangi terjadinya interferensi. Salah satu algoritma yang digunakan untuk distribusi alokasi resource dalam sistem jaringan komunikasi adalah algoritma *Hungarian*. Algoritma *hungarian* yang diperkenalkan dalam jurnal ini memberikan solusi membagi resource secara adil untuk semua komponen di sistem model CRN. *Data rate* meningkat dengan menaikkan jumlah *resource block*.

Kata Kunci: *Cognitive Radio Network* (CRN), *Data rate*, Efisiensi spektral, *Hungarian*, Efisiensi Energi, QoS.

Abstract

One of the ways implement from the 5G network in the future is to implement *Cognitive Radio Network* (CRN) using a heterogeneous multi-tier networks consisting of small cell communication between primary users and secondary users. CRN was developed because it can be connected directly between devices with other devices without going through a *Base Transceiver Station* (BTS) and used as an off-load *Evolved Node B* (eNB). The application of CRN is very useful to consider having several problems with interference with the frequency of other devices in the same cell. This can greatly affect *Quality of Service* (QoS) in CRN communication systems so that distribution is needed for application of a resource allocation distribution that can increase energy efficiency, spectral efficiency, data rate, and reduce interference. One of the algorithms used for the distribution of resource allocation in communication network systems is the *Hungarian algorithm*. *Hungarian algorithm* introduced in this journal provides a solution to divide resources fairly for all component model system in CRN. The data rate increases by increasing the number of resource blocks.

Keywords: *Cognitive Radio Network* (CRN), *Data rate*, *Spectral Efficiency*, *Hungarian*, *Energy efficiency*, QoS.

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi seluler setiap waktu semakin berkembang, baik dari sisi kecepatan data rate, kapasitas data, dan layanan jaringan yang di sediakan. Hal tersebut dikarenakan keinginan masyarakat akan terciptanya sarana telekomunikasi yang handal terus berkembang. Menurut *Federal Communication Commission* (FCC) sumber daya radio menjadi semakin menakutkan dan pemanfaatan spektrum alokasi tradisional sangat rendah [1].

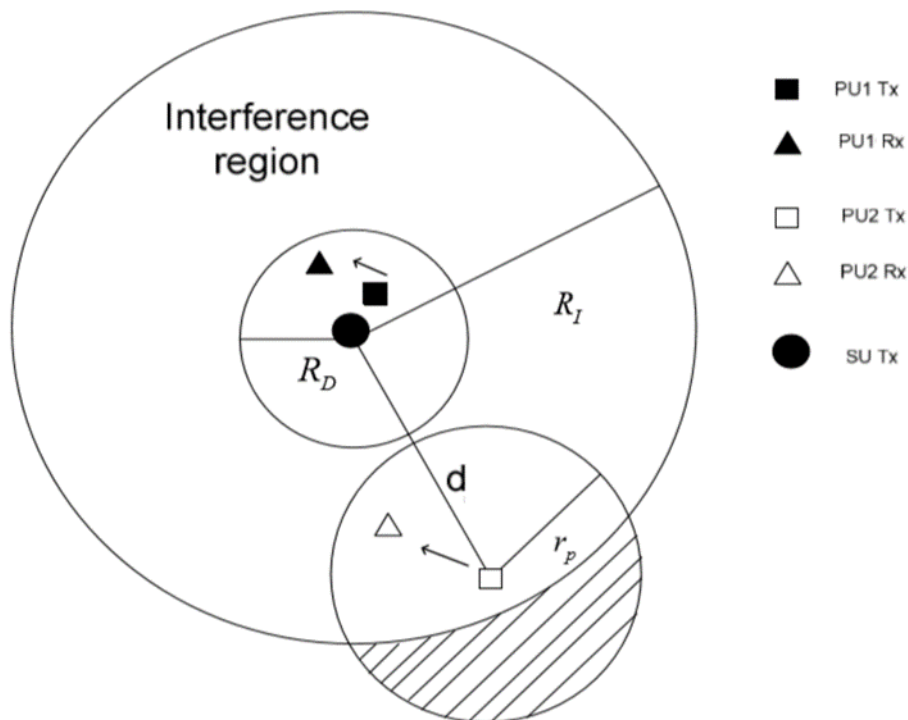
Dewasa ini pada era yang semua serba teknologi memerlukan arsitektur, spektrum dan algoritma baru yang baik, guna menangani persyaratan permintaan yang meningkat pada layanan jaringan nirkabel serta kecepatan laju data yang lebih tinggi. Salah satu penerapan komunikasi untuk teknologi dimasa yang akan datang ialah *Cognitive Radio Network* (CRN) dimana teknologi tersebut dapat meningkatkan spektrum pemanfaatan secara efektif, dan itu juga dapat memecahkan masalah pemanfaatan sumber daya spektrum apabila ada spektrum yang tidak memadai [2].

Untuk mengatasi masalah yang terjadi, tugas akhir ini akan meneliti pengaruh interferensi pada komunikasi CRN dan mengurangi interferensi antara pengguna PU dan SU agar dapat meningkatkan QoS dari sisi data rate dan efisiensi spektral. Akibatnya apabila spektrum *sensing* itu sudah diisi oleh user lain, sebagai user kehilangan peluang untuk menggunakannya [3]. Dalam Tugas Akhir ini penulis beranikan untuk menilite dan melakukan proses simulasi pengalokasian sumber daya radio pada jaringan radio kognitif menggunakan algoritma *Hungarian*. Algoritma ini juga dibuat untuk sebuah sistem model dimana antara *primary user* dan *secondary user* dialokasikan pada waktu yang

bersamaan dimana penulis menilite dengan mempertahankan QoS seperti *Signal-to-Interface-plus-Noise-Ratio* (SINR). Hasil simulasi yang nantinya bakal diperoleh ialah membandingkan *sumrate system* yang sudah dirancang dan parameter performansi lainnya seperti *data rate* rata-rata, *fairness*, *spectral efficiency* dan efisiensi energi kemudian dibandingkan dengan algoritma *minimum interference* pada satu sel dengan menambahkan sebanyak-banyaknya *secondary user*.

2. Dasar Teori

2.1 Cognitive Radio Network (CRN)



Gambar 1 Komunikasi *Cognitive Radio Network*

Selama beberapa dekade, komunikasi wireless mempunyai pengalaman dan perkembangan yang signifikan juga belum pernah terjadi sebelumnya. *Cognitive Radio Network* dalam teknologi komunikasi nirkabel ialah konsep terbaru yang sangat memperhatikan spektrum alokasi, jadi yang dimaksudkan disini CRN adalah suatu konsep terbaru yang terdiri dari beberapa jumlah *user* di mana mekanisme saluran yang diakses bersifat dinamis karena banyak slot yang kosong guna diisi oleh *resource* agar dapat mengurangi interferensi [4].

Banyaknya masalah yang terjadi di transmisi menggunakan *relay*, maka probabilitas pemadaman target dapat dipenuhi dengan memilih secara optimal node dan antenna *relay* terbaik [5].

- Primary User* adalah user yang sudah memiliki lisensi untuk beroperasi pada band spektrum tertentu dan juga berperan sebagai pusat dari sistem model ini. Pada saat melakukan pengoperasian ini tidak boleh ada interferensi oleh aktivitas *secondary user* tetapi wajar apabila ada interferensi jika terjadinya proses pengalokasian.
- Secondary User* adalah *user* yang tidak memiliki lisensi yang beroperasi pada band yang diinginkan. Sering diketahui juga sebagai DSA (*Dynamic Spectrum Access*).

2.2 Radio Resource Management (RRM) untuk Komunikasi D2D

Pada sistem CRN yang dijelaskan pada gambar 1, mempertimbangkan skenario dengan beberapa SU diizinkan untuk membagikan spektrum yang tujuannya hanya untuk PU [6]. Namun keberadaan PU seharusnya terdeteksi dengan benar, ada beberapa Teknik yang harus dipertimbangkan mengurangi interferensi SU seperti berbeda rentang gangguan dan pendeteksian terhadap TxSU yang ditempatkan ditengah lingkaran operasi, R_d adalah jari-jari rentang deteksi dan R_I adalah jari-jari rentang gangguan. Dalam hal tersebut, SU mungkin tidak dapat mendeteksi keberadaan TxPU dikarenakan pemisahan yang besar di antara keduanya, tetapi SU dan PU dapat mengganggu RxPU [2], ketika SU dapat sumber daya atau dialokasikan. Setelah itu, sangat sulit untuk SU mendeteksi RxPU. Pada sistem CRN dapat mengonversi masalah dari mendeteksi penerima utama hingga mendeteksi pemancar utama[6].

Oleh karena itu, model sistem CRN memiliki sel yang untuk mengoptimasi sistem model, yang rentangnya adalah diwakili oleh R_p dimana kekuatan SU tidak dapat melebihi *threshold*(th) tertentu. Karena kekuatan transmisi PU juga dibawah batas daya total yang sama, penerima PU di area seperti itu yang dipusatkan oleh PU atau tidak ada *Evolve Node-B* (eNB) karena PU seolah-olah sebagai pemancar dan penerima lalu dapat mendapatkan sinyal yang telah dikirim

oleh TxPU. Syaratnya ialah SU mendapatkan slot kosong yang mana dapat mendeteksi TxPU tujuannya untuk dialokasikan tetapi dalam 1 kanal. Ketika RxPU terletak didaerah *shaded area* yang diilustrasikan, SU tidak akan mengganggu penerima PU bahkan jika th terlampaui karena PU sebagai pilihan utama bagi *user*.

Dalam model sistem CRN ini, mengalokasikan setiap subchannel ke sebuah PU individu. Ada N sub-saluran yang sama dengan N PU di jaringan. Setiap sub-saluran terdiri dari L_j ($j=1,2,\dots,N$) *sub-carrier* berbeda keuntungan[6]. Ternyata jumlah semua seluruh *sub-carrier* ialah $M = \sum_{j=1}^N L_j$ [6]. Jadi, dalam model sistem CRN, TxSU tidak dapat mengirimkan sinyal ketika PU apabila slot *resource*-nya tidak dibutuhkan. Apabila PU tidak terdeteksi, sistem CRN harus memastikan daya pancar berada dibawah th tertentu. Pendefinisian sistem ini dapat sebagai[6]:

$$P_j \leq G_j \quad (1)$$

Sehingga[6],

$$G_j = \begin{cases} 0 & \text{PU } j \text{ telah terdeteksi} \\ \eta(d_j - r_p^j)\beta^j & \text{PU } j \text{ tidak terdeteksi} \end{cases} \quad (2)$$

P_j ialah daya yang alokasinya untuk SU di *sub-channel* j dan juga *thresholdnya*. Untuk sederhananya, th diseluruh *sub-channel* diasumsikan sama. G_j ialah kendala dari gangguan untuk *sub-channel* j , D_j ialah jarak antara TxSU dan TxPU $_j$, r_p^j merupakan jari-jari wilayah yang melindungi bagian di *sub-channel* j . β^j menunjukkan faktor *attenuation*[6]. Berdasarkan penelitian, sistem ini telah dimodifikasi agar sesuai dengan OFDM yang mengacu pada sistem CRN.

2.3 Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR), dan Data Rate

Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR) adalah jumlah yang dipakai untuk memberikan batas teoritis pada kapasitas saluran / tingkat transfer informasi dalam komunikasi nirkabel seperti jaringan. Mirip dengan SNR yang sering dipakai dalam sistem komunikasi kabel, SINR mendefinisikan sebagai kekuatan sinyal tertentu yang dibagi dengan jumlah kekuatan interferensi (dari semua sinyal terima lainnya) dan kekuatan beberapa kebisingan (*noise*)[7].

SINR biasa digunakan dalam komunikasi nirkabel sebagai cara untuk mengukur kualitas koneksi nirkabel. Biasanya, energi sinyal memudar dengan jarak, disebut sebagai kehilangan jalur dalam jaringan nirkabel. Sebaliknya, dalam jaringan kabel, ketersediaan jalur kabel antara pemancar dan penerima menentukan penerimaan data yang benar. Dalam jaringan nirkabel, pengamat harus memperhitungkan faktor-faktor lain seperti *noise*, dan sinyal mengganggu transmisi simultan lainnya[7].

$$\frac{S}{I+N} \quad (3)$$

SINR dan penghitungan *data rate* SINR dari PU dan CRN harus dihitung dan dianggap sebagai parameter penting untuk memaksimalkan *data rate* sistem. SINR pengguna dapat diberikan oleh [7].

$$\gamma_{ul} = \frac{P_l h_{ul}^l}{I_{ul} + N_o} \quad (4)$$

$$N_o = k * T * BW \text{ per subcarrier} \quad (5)$$

Dimana P_l adalah daya transmisi pada relay I, N_o adalah *noise* termal, dan I_{ul} adalah kekuatan interferensi yang diterima oleh pengguna u_l dalam model dari kelompok pasangan CRN dengan pengguna utama u_l . I_{u_l} dapat diberikan oleh persamaan [7].

$$I_{ul} = \sum_{u_d \in D_{u_l}} P_d h_{d,u_l} \quad (6)$$

Dimana u_d adalah *user* CRN dan D_{u_l} adalah sekelompok pasangan CRN yang sama dengan pengguna u_l .

2.3 Fairness

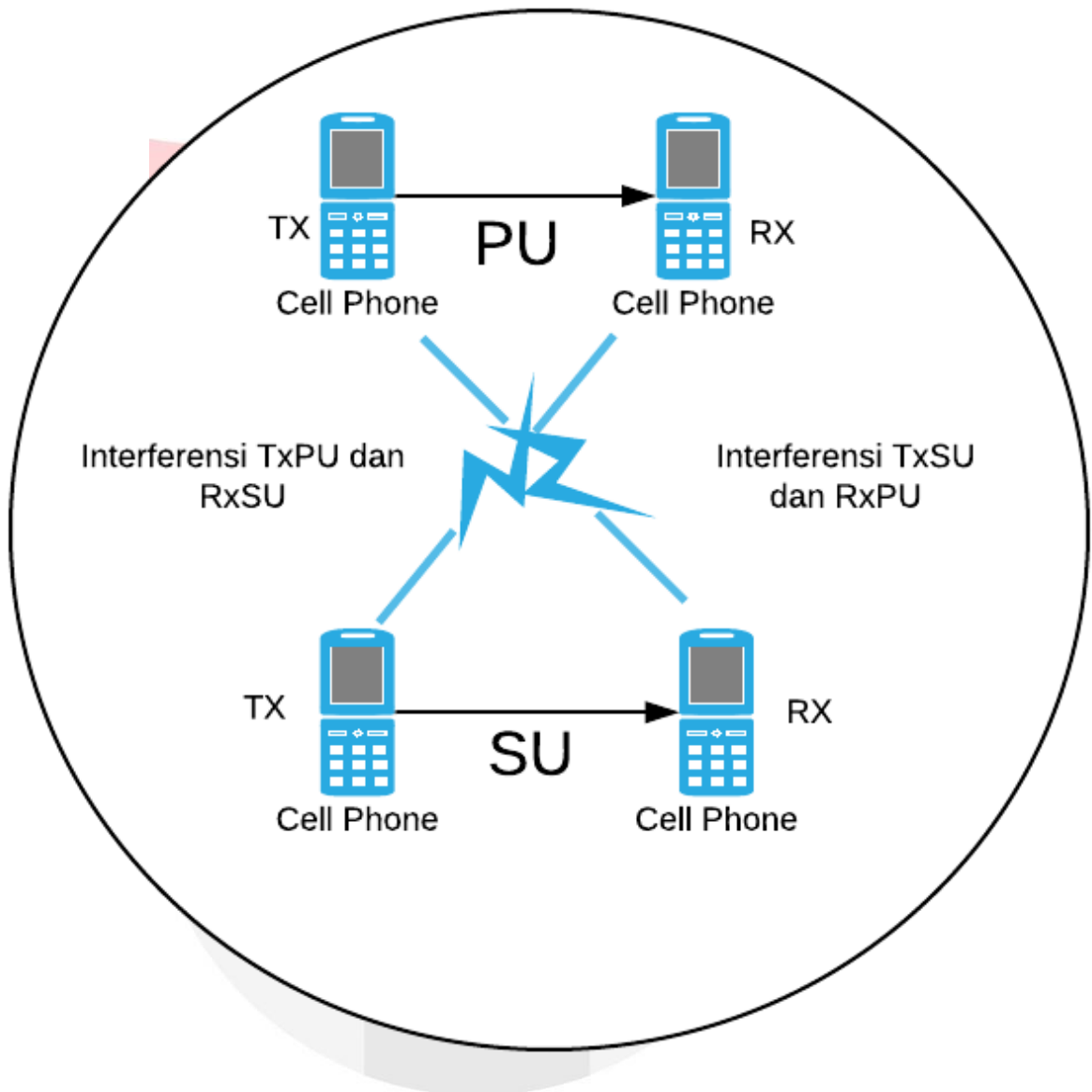
Fairness merupakan kesetaraan yang diperoleh pada masing-masing *user* untuk mendapatkan sumber daya radio. Pengukuran parameter performansi *Fairness* menggunakan formula yang didapat dari *Jain's Fairness Index* pada persamaan 2.14 untuk mengevaluasi seberapa setara algoritma yang dijalankan dalam mengalokasikan sumber daya dapat dilihat sebagai berikut[9].

$$F = \frac{(\sum_{i=1}^N (R_i))^2}{n \sum_{i=1}^N (R_i)^2} \quad (7)$$

Dimana R_i adalah *data rate* total dan n ialah total jumlah *user* pada sistem.

3. Dasar Teori

3.1 Desain Sistem



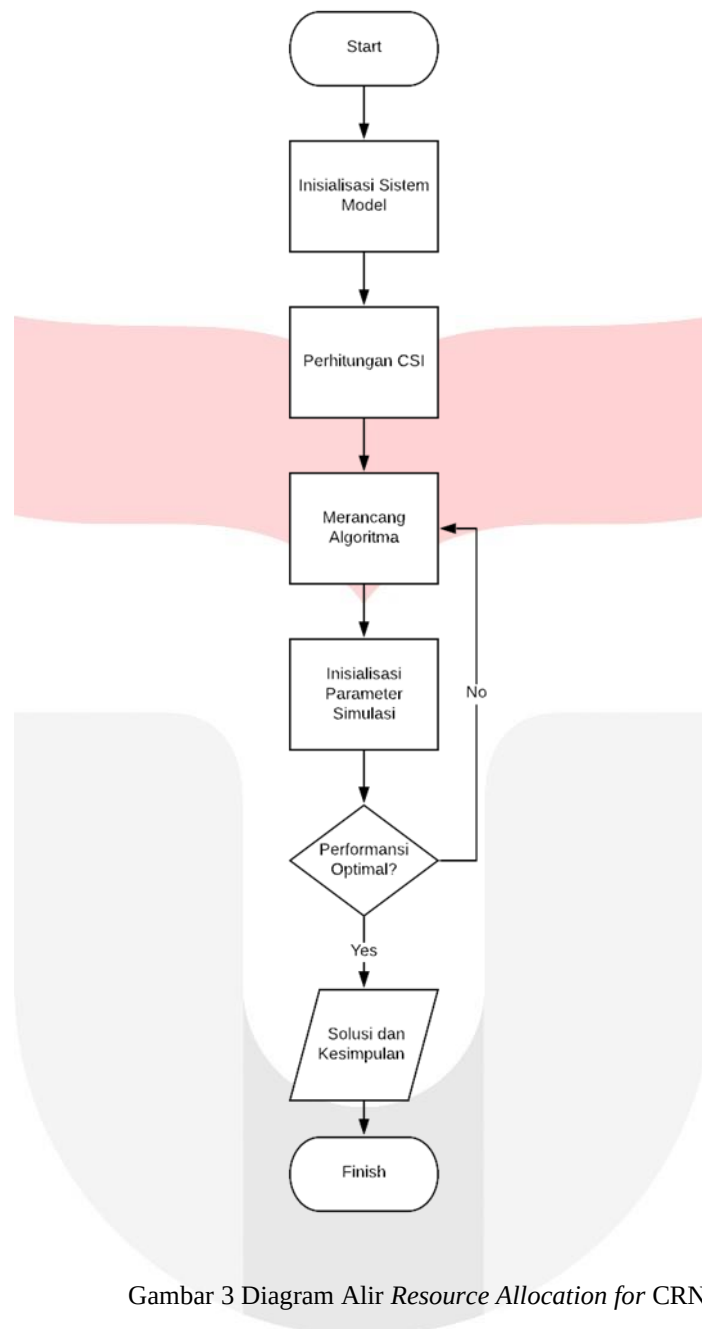
Gambar 2 Sistem Model

Gambar 2 menjelaskan sistem model dengan hubungan interferensi dari TxPU dengan RxSU yang sangat berpengaruh dengan gain saluran dari PU yang sekaligus menggantikan fungsi eNB dan hubungan interferensi dari TxSU dengan RxPU yang sama mengganggu gain saluran dari SU [4]. Interferensi sangat berperan penting dalam sistem model ini pada saat PU maupun SU memancarkan *resource*, maka RxSU akan menerima juga *resource* yang dikirimkan oleh TxPU tetapi dicari *resource* yang paling baik menggunakan algoritma *hungarian* dan dibandingkan dengan *minimum interference* dan *random allocation*. *Urban Micro Systems* ialah model saluran yang digunakan untuk penelitian ini.

Dalam sistem ini mempertimbangkan jaringan radio kognitif dengan satu pasangan *user* pengguna (satu pemancar primer (TxPU) dan satu penerima primer (RxPU)), dan pasangan *user* kedua L (TxSU dan RxSU) [2]. Ketika saluran antara TxPU dan RxPU sangat baik, maka PU memilih *sub-channel* terbaik untuk mentransmisikan datanya langsung dari sumber utama ke tujuan utama, sementara SU menggunakan *sub-channel* saluran *idle* yang tersisa untuk memberikan data mereka sendiri, seperti yang digunakan oleh **Gambar 2**

Dalam sistem ini, tidak ada *relay* antara sumber utama dan tujuan utama. Jika saluran antara sumber utama dan tujuan utama buruk, maka data PU ditransmisikan pertama kali ke SU yang telah dipilih lalu diteruskan dengan menggunakan protokol *decode and forward* (DF) [3].

3.2 Diagram Alir Perancangan Sistem



Gambar 3 Diagram Alir Resource Allocation for CRN

Pada **Gambar 3.1** memperlihatkan diagram alir dari model sistem yang akan diteliti. Inisiasi input pada model ini menggunakan frekuensi *carrier* sebesar 1,7 GHz dan *bandwidth* 180 KHz, jarak sel 300 m dan *power* PU maupun SU sebesar 1.0 Watt. Setelah inisiasi input telah ditentukan, maka diperlukan perhitungan CSI seperti gain dan loss sistem. Jika telah menentukan nilai perhitungan CSI, maka perhitungan CSI tersebut akan menjadi inputan untuk algoritma yang telah ditentukan.

Setelah mendapatkan hasil dari algoritma yang telah ditentukan, maka akan mendapatkan parameter-parameter performansi seperti *sumrate*, *data rate* rata rata, *fairness*, efisiensi spektral dan efisiensi energi. Lalu output dari performansi akan diatur pada perancangan algoritma, dimana algoritma yang telah ditentukan adalah algoritma *hungarian*, algoritma *minimum interference* dan algoritma *random allocation* sebagai perbandingan performansi sistem.

Setelah hasil perbandingan pengukuran performansi sistem didapatkan, maka dapat langsung dianalisis apakah

algoritma *hungarian* bisa bekerja secara efektif dan efisien dibandingkan kedua algoritma pembanding. Lalu pada akhirnya penulis dapat menyimpulkan semua hasil dan dirancang sebanyak 2 skenario.

3.3 Perhitungan Parameter Sistem Model

Dalam penelitian ini, sebuah sel diteliti untuk meneliti pengaruh interferensi *sub-channel* ketika SU dianggap sebagai cadangan dari PU. ENB terletak di pusat sel diantara PU dan TxSU didistribusikan secara acak di sekitarnya. Ujung RxSU didistribusikan di sekitar TxSU dengan jarak maksimum 30m.

Tabel 1 Parameter sistem

Parameter	Nilai
Cell Radius	300 m
Frekuensi carrier	1,8 GHz
Bandwidth	180 KHz
Daya transmit pada PU	0.1 watt
Daya transmit pada SU	0.1 watt
Fading	Rayleigh Random

Misalkan ada N *sub-channel* dengan bandwidth B_0 . $h_{p,p}^n$, $h_{p,l}^n$, dan $h_{l,l}^n$ menunjukkan hasil saluran ke- n dari TxPU ke RxPU, TxPU ke RxSU, TxSU ke RxPU, TxSU ke RxSU, $l \in L$, $n \in N$, dengan $L=\{1,2,\dots,L\}$ dan $N=\{1,2,\dots,N\}$ adalah set untuk L SU_s and N *sub-channel*[8].

Gangguan didalam korespondensi kanal diasumsikan sebagai adiktif dari gangguan *White Gaussian* (AWGN) dengan hasil rata-rata minimum dan *variances* dari masing-masing $\sigma_{p,p}^2$, $\sigma_{p,l}^2$, $\sigma_{l,p}^2$, $\sigma_{l,l}^2$. PU memiliki daya pancar yang sama P_{pu} dari masing-masing *sub-channel*, dan semua SU_s memiliki daya pancar P_{su} [8].

Asumsikan bahwa rating target dari PU adalah R_T . PU akan memilih *sub-channel* yang terbaik guna mentransmisikan data tersebut, tingkat maksimum yang tersedia dari jaringan PU diberikan oleh[8]

$$R_K = \log_2 \left(1 + \frac{P_{pu} |\max(h_{p,p}^n)|^2}{\sigma_{p,p}^2} \right) \quad (8)$$

Jika $R_k > R_T$, dapat diartikan bahwa PU dapat mengirimkan datanya tanpa menggunakan relay, apabila sistem itu terancang dengan baik maka *sub-channel* pending dapat digantikan oleh SU. Apabila masih tetap pending satu atau lebih SU dapat berfungsi sebagai relay untuk membantu PU.

Dalam sistem *Cognitive Radio Network* ini, penulis tidak menggunakan relay untuk proses penelitiannya, pada percobaan ini $\rho_l^n, \rho_l^n \in \{0,1\}$ persamaan itu menunjukkan indeks alokasi saluran terhadap TxSU, ρ_l^n sama dengan 1 apabila tidak ρ_l^n sama dengan nol. Kemudian laju jaringan tersebut untuk SU dapat dibuat menjadi persamaan[8]:

$$R_l = B_0 \sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L \rho_l^n \log_2 \left(1 + \frac{\rho_l^n |h_{l,l}^n|^2}{\sigma_{l,l}^2} \right) \quad (9)$$

Ketika ρ_l^n ialah daya dari TxSU maka kanal akan mengalokasikan dirinya terhadap n -th. Pemberhentian probabilitas jaringan CR dalam hal ini didapatkan oleh [8]:

$$P_{lno} = 0 \quad (10)$$

Dan, ketika masalah optimisasi CRN dapat dirumuskan sebagai berikut[8]:

$$\text{Max } R_l \quad (11)$$

3.4 Hungarian Algorithm

Didalam sistem model CRN ini, penulis menggunakan algoritma *hungarian* untuk memilih *sub-channel* mana yang sangat membantu dalam proses simulasi dan digunakan untuk mengalokasikan daya pada RxSU, karena PU hanya menggunakan satu *sub-channel* untuk mentransmisikan datanya, dan juga ada $N-1$ *sub-channel* untuk jaringan sekunder.

Pendefinisian koefisien matrix untuk kanal gain ialah seperti berikut[1]:

$$W = \begin{bmatrix} w_{1,1}^1 & w_{1,1}^2 & \dots & w_{1,1}^{N-1} \\ w_{2,2}^1 & w_{2,2}^2 & \dots & w_{2,2}^{N-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{L,L}^1 & w_{L,L}^2 & \dots & w_{L,L}^{N-1} \end{bmatrix}_{L \times (N-1)} \quad (12)$$

Dimana[1]:

$$w_{1,1}^1 = (h_{1,1}^1)^2 - (\max_{l \in L, n \in (N-1)} (H_1))^2 \quad (13)$$

$$H_1 = \begin{bmatrix} h_{1,1}^1 & h_{1,1}^2 & \dots & h_{1,1}^{N-1} \\ h_{2,2}^1 & h_{2,2}^2 & \dots & h_{2,2}^{N-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ h_{L,L}^1 & h_{L,L}^2 & \dots & h_{L,L}^{N-1} \end{bmatrix}_{L \times (N-1)} \quad (14)$$

Kemudian dalam sistem CRN saluran alokasi yang optimal dapat dicapai sesuai dengan algoritma *hungarian*, tetapi algoritma yang dicapai hanya akan menyelesaikan matriks kuadrat, ketika $L \neq N-1$ maka kita harus menstruktur ulang matriks yang bernilai kuadrat dari $W[1]$.

Ketika $N-1 > L$, SU dapat dengan mudah dialokasikan lebih dari satu tetapi tidak boleh lebih dari *sub-channel* $N-L$. sistem CRN yang akan disimulasikan ini diharuskan untuk membuat $N-L-1$ dari SU gunanya untuk merestrukturisasi matriks koefisien yang sudah diformulasikan sebagai berikut[1]:

$$W = \begin{bmatrix} w_{1,1}^1 & w_{1,1}^2 & \dots & w_{1,1}^{N-1} & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_{1,1}^1 & w_{1,1}^2 & \dots & w_{1,1}^{N-1} & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_{L,L}^1 & w_{L,L}^2 & \dots & w_{L,L}^{N-1} & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_{L,L}^1 & w_{L,L}^2 & \dots & w_{L,L}^{N-1} & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}_{L(N-L) \times L(N-L)} \quad (14)$$

Tetapi ketika $N-1 < L$, kita membutuhkan penambahan $L-N+1$ yang substantif untuk *sub-channel*. Maka sistem ini perlu diformulasikan ulang sebagai perumusan berikut[1]:

$$W = \begin{bmatrix} w_{1,1}^1 & w_{1,1}^2 & \dots & w_{1,1}^{N-1} & 0 & \dots & 0 \\ w_{2,2}^1 & w_{2,2}^2 & \dots & w_{2,2}^{N-1} & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ w_{L,L}^1 & w_{L,L}^2 & \dots & w_{L,L}^{N-1} & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}_{L \times L} \quad (15)$$

Menurut dari beberapa bagian nomor dari *sub-channel* RxSU telah ditempati, dan juga power alokasi untuk beberapa SU dapat diformulasikan sebagai berikut[1]:

$$P_l = \frac{\sum_{n=1}^N \rho_{l,l}^n}{\sum_{n=1}^N \sum_{l=1}^L \rho_{l,l}^n} P_{su} \quad (16)$$

$\rho_{l,l}^n$ menunjukan untuk kanal alokasi indeks antara TxSU menuju RxSU.

Tabel 1 Pseudocode Alokasi Algoritma Hungarian

Algoritma (1): Alokasi Menggunakan Hungarian.
Alokasi <i>resource</i> untuk pengguna PU maupun SU dengan skema bipartite for Setiap pemancar SU <i>d</i> do if PU <i>j</i> orthogonal tersedia then if Datarate SU(<i>i,j</i>) tambah Datarate PU(<i>i,1</i>) tinggi Datarate Sistem(<i>1,j</i>) then Alokasi(<i>i,j</i>) sama dengan Datarate SU(<i>i,j</i>) tambah Datarate PU else Alokasi(<i>i,j</i>) sama dengan Datarate Sistem(<i>1,j</i>) end end end

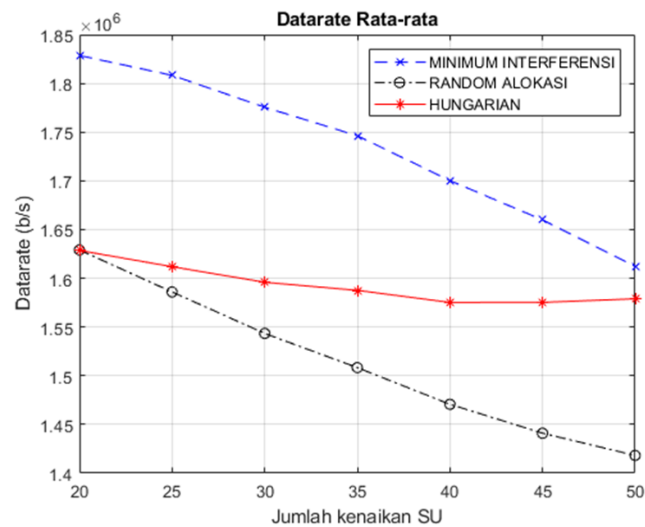
5. Pembahasan

5.1 Datarate Rata – Rata Sistem

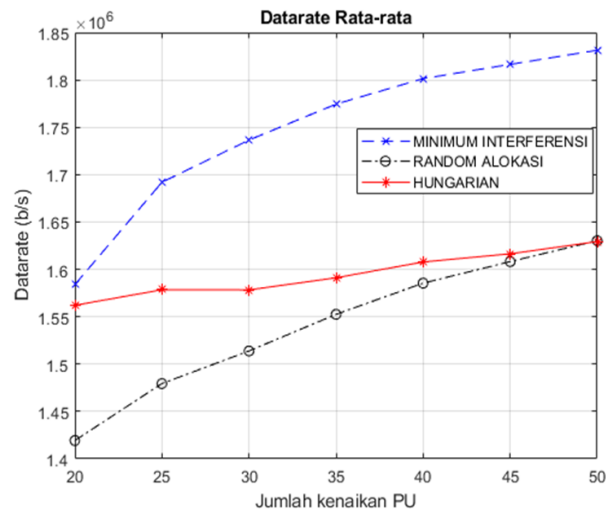
Data rate rata-rata adalah *sumrate* sistem dibagi dengan penjumlahan jumlah kenaikan SU dan jumlah kenaikan PU pada sistem. Pada Gambar 4 dan Gambar 5 terlihat setiap penambahan SU dalam sebuah sel akan menurunkan nilai *data rate* rata-rata. Hal ini disebabkan karena *sumrate* berbanding lurus dengan *data rate* rata-rata.

Pada sisi performansi *data rate* rata-rata, algoritma yang terbaik adalah algoritma *minimum interference* dengan nilai 1.733×10^6 bps, algoritma kedua terbaik adalah algoritma *hungarian* dengan nilai 1.5933×10^6 bps, dan algoritma terburuk adalah algoritma *random allocation* dengan nilai 1.5138×10^6 bps. Setiap penambahan PU (*resource block*) maka *data rate* rata-rata yang dihasilkan dalam sistem akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena setiap *resource block* memiliki *resource* yang dihasilkan. Maka *data rate* rata-rata berbanding lurus dengan pertambahan jumlah kenaikan PU, Rata- rata nilai *data rate* rata-rata saat PU sebanyak 50, *data rate* sistem terbaik yang didapat adalah 1.7479×10^6 bps sedangkan rata- rata nilai *data rate* saat SU sebanyak 50, *data rate* sistem terbaik yang didapat adalah

1.733×10^6 bps.



Gambar 4 Data rate dengan jumlah SU sebanyak 50.

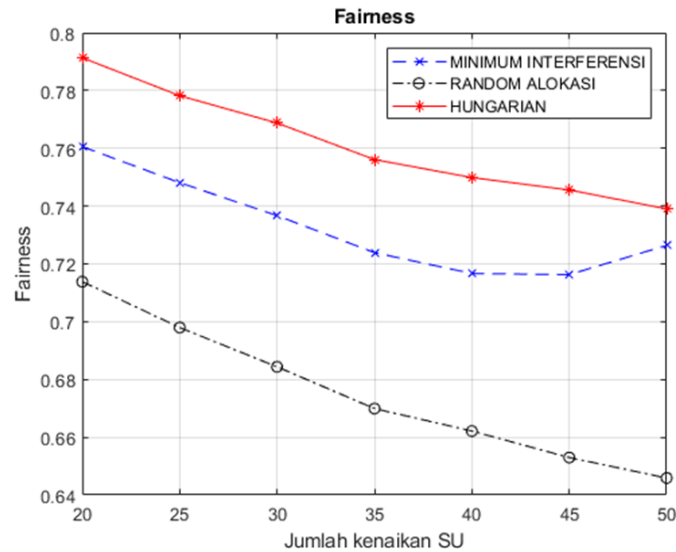


Gambar 5 Data rate dengan jumlah PU sebanyak 50.

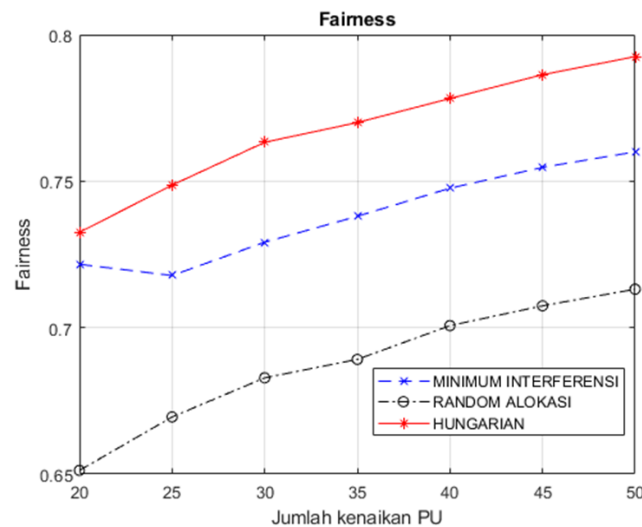
5.2 Fairness Sistem

Fairness adalah kesamaan perlakuan untuk mendapatkan sumber daya radio untuk semua user pada sistem. Semakin besar nilai *fairness* maka semakin dengan distribusi RB antar user dengan nilai maksimum 1 yang berarti semua user mendapatkan SNR yang sama. Pada Gambar 6 dan Gambar 7 terlihat setiap kenaikan jumlah SU dalam sebuah sel akan menurunkan nilai *fairness*. Hal ini disebabkan karena pada saat kondisi jumlah SU lebih atau kurang dari *resource block*, maka menyebabkan nilai *fairness* tidak optimum karena *resource block* tidak teralokasi secara merata kepada SU. Ketika jumlah SU bertambah lebih dari jumlah *resource block*, terdapat SU yang tidak mendapat *resource block*, sehingga memiliki nilai SINR sama dengan nol.

Pada sisi performansi *fairness*, algoritma yang terbaik adalah algoritma *hungarian* dengan nilai 0.7613, algoritma kedua terbaik adalah algoritma *minimum interference* dengan nilai 0.7327, dan algoritma terburuk adalah algoritma *random allocation* dengan nilai 0.6752. Algoritma *hungarian* mengalokasikan *resource block* dengan kanal terbaik kepada SU dengan eliminasi nilai maksimum berkali-kali untuk mendapatkan *resource* dengan nilai terbaik. Sehingga SU dan PU memiliki kesempatan yang sama dalam mendapatkan alokasi *resource block*. Sedangkan algoritma *minimum interference* lebih kecil dikarenakan alokasinya tergantung kepada interferensi total terkecil, tidak melihat sisi keseimbangan *resource* yang dialokasikan kepada SU. Setiap kenaikan jumlah PU (*resource block*) maka *fairness* yang dihasilkan dalam sistem akan semakin besar. Hal ini disebabkan karena setiap *resource block* memiliki *resource* yang dihasilkannya unggul. Maka *fairness* berbanding lurus dengan pertambahan atau kenaikan jumlah PU. Rata-rata nilai *fairness* saat SU sebanyak 50, *fairness* sistem terbaik yang didapat adalah 0,7613 sedangkan rata-rata nilai *fairness* saat RB sebanyak 50, *fairness* sistem terbaik yang didapat adalah 0,7673 s.



Gambar 6 Fairness dengan jumlah SU sebanyak 50.



Gambar 7 Fairness dengan jumlah PU sebanyak 50.

6. Kesimpulan

Adapun saran dari penulis berdasarkan hasil simulasi dapat dilakukan penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut:

- Pada performansi *sumrate*, nilai *sumrate* bernilai besar jika menambahkan jumlah SU dan mengurangi jumlah PU sistem dengan nilai rata-rata *sumrate* sistem adalah 1.3526×10^8 b/s.
- Pada performansi *data rate* rata-rata, nilai *data rate* rata-rata bernilai besar jika mengurangi jumlah SU dan menambahkan jumlah PU sistem dengan nilai rata-rata *data rate* rata-rata sistem adalah 1.5933×10^6 b/s.
- Pada performansi efisiensi spektral, nilai efisiensi spektral bernilai besar jika mengurangi jumlah SU dan menambahkan jumlah PU sistem dengan nilai rata-rata efisiensi spektral sistem adalah 14.3839 b.
- Pada performansi efisiensi energi, nilai efisiensi energi bernilai besar jika menambahkan jumlah SU dan mengurangi jumlah PU sistem dengan nilai rata-rata efisiensi energi sistem adalah 1.3439×10^7 b/sWatt.
- Pada performansi *fairness*, nilai *fairness* bernilai besar jika menambahkan jumlah SU dan mengurangi jumlah PU sistem dengan nilai rata-rata *fairness* sistem adalah 0.7613.
- Terlihat pada performansi *sumrate*, *data rate*, efisiensi spektral, dan efisiensi energi pada skenario pertambahan jumlah SU dan pertambahan jumlah PU menunjukan algoritma *minimum interference* konsisten lebih unggul karena alokasi *minimum interference* mengalokasikan *resource* dengan melihat interferensi total terkecil yang disebabkan oleh interferensi dari PU terhadap RxSU dan interferensi dari TxSU terhadap PU. Performansi *fairness* pada skenario pertambahan jumlah SU dan pertambahan jumlah PU menunjukan algoritma *hungarian* konsisten lebih unggul karena alokasi *hungarian* melakukan proses mencari atau eliminasi berulang kali hingga mendapat nilai terbaik yaitu dengan nilai maksimum untuk dialokasikan dalam sistem CRN dari TxSU terhadap PU ditambahkan dengan nilai *data rate* terbesar pertama dan nilai *data rate* terbesar kedua. Semakin banyak proses eliminasi maka pembagian *resource* untuk SU akan semakin adil dan merata.

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

- Dilakukan simulasi sistem komunikasi CRN dengan algoritma alokasi lain atau *compare* dengan teknologi *device to device*.

- b. Membuat modifikasi baru untuk perkembangan telekomunikasi khususnya CRN di masa yang akan datang sehingga menghasilkan nilai yang akurat dan sesuai.

Daftar Pustaka:

- [1] Min Zhang, Guodong Zhang, and Shibing Zhang, “An Optimized Resource Allocation Algorithm in Cooperative Relay Cognitive Radio Networks,” Nantong Research Institute, China, 2017.
- [2] Muh.Bagus Satria, I Wayan Mustika, and Widyawan, “Resource Allocation in Cognitive Radio Network Based on Modified Ant Colony Optimization,” 4th International Conference on Science and Technology (ICST), Indonesia, 2018.
- [3] X.Guo, X.Zhang, S.Zhang, et.al, “A resource allocation strategy for cooperative multi-relay cognitive radio networks,” International Conference on Software Telecommunications and Computer Networks, pp.1-5, Split, Croatia, September 2016.
- [4] Zhu Han, K. J. Ray Liu, “Resource Allocation for Wireless Network: Basics, Techniques, and Applications,” Cambridge University Press, USA, 2008.
- [5] Yan Zhang, Jun Zheng, Hsiao-Hwa Chen, “Cognitive Radio Networks : Architectures, Protocols, and Standards,” CRC Press-Taylor & Francis Group, USA, 2016.
- [6] Qilin Qi, Andrew Minturn, and Yaoqing (Lamar) Yang, “An Efficient Water-Filling Algorithm for Power Allocation in OFDM-Based Cognitive Radio Systems,” International Conference on Systems and Informatics (ICSAI 2012), USA, 2012.
- [7] F. W. Zaki, S. Kishk, and N. H. Almofa, “Distributed Resource Allocation for D2D Communication Networks using Auction,” IEEE 34th National Radio Science Conference, Egypt, pages 284-293, 2017.
- [8] Saleem Aslam, Adnan Shahid, and Kyung-Geun Lee, “Interference Minimization Scheme for Cognitive Radio Networks Using Hungarian Algorithm,” Department of Information and Communication Engineering Sejong University, Seoul, 2012.
- [9] Z. Shen, J. G. Andrews dan B. L. Evans, “Adaptive Resource Allocation in Multipengguna OFDM System with Proportional Fairness,” IEEE Transactions on Wireless Communication, vol. 4, no. 6, pages 2726-2737, 2005.

