

Alokasi *Resource* bagi *Multicarrier-Low Density Sequence-Multiple Access*

Linda Meylani¹, Nur Andini², Desti Madya Saputri³, Iswahyudi Hidayat⁴

Intisari—*Multicarrier low-density sequence multiple access* (MC-LDSMA) merupakan salah satu tipe dari *non-orthogonal multiple access* (NOMA) domain kode pada sistem *multicarrier*. Setiap pengguna (*user*) pada skema akses ini memiliki kode yang tidak ortogonal satu dengan lainnya, dengan setiap pengguna hanya mengakses sejumlah d_v *resource* dari N *resource* yang tersedia dan hanya terdapat d_c pengguna dari total J pengguna yang mengakses *resource* yang sama. Sifat nonortogonal ini menyebabkan sistem MC-LDSMA memiliki *overloading factor* yang lebih tinggi dibandingkan sistem *multicarrier* ortogonal lainnya. Kondisi ini mengakibatkan MC-LDSMA menjadi salah satu teknik akses jamak yang dapat digunakan pada sistem komunikasi radio kognitif *underlay*, dengan sejumlah pengguna sekunder (*secondary user*, SU) atau *unlicensed user* diberikan izin untuk mengakses *resource* yang dimiliki oleh pengguna primer (*primary user*, PU) atau *licensed user*. Makalah ini mengusulkan algoritme alokasi *resource* bagi MC-LDSMA pada sistem radio kognitif *underlay*. Algoritme yang diusulkan bertujuan meningkatkan jumlah SU yang mengakses *resource* PU sekaligus menjaga faktor kualitas SU. Sistem yang dibangun terdiri atas sejumlah I pengguna PU dan J pengguna SU. Pengguna PU pada sistem diasumsikan saling ortogonal sehingga tidak saling menginterferensi satu dengan lainnya, sedangkan sejumlah J SU mengakses *resource* yang dimiliki PU secara bersamaan dengan menggunakan skema akses jamak MC-LDSMA. Algoritme usulan memperhatikan beberapa faktor, di antaranya parameter d_c , d_v , *signal-to-noise ratio* (SNR) target SU, dan batas toleransi interferensi yang dikehendaki oleh PU. Parameter kinerja ditunjukkan oleh *outage probability* (OP), *throughput* PU dan SU, dan rasio jumlah SU yang mendapatkan alokasi kurang dari d_v *resource*. Hasil simulasi menyatakan bahwa semua parameter kinerja dipengaruhi oleh jumlah *resource* yang diakses oleh setiap pengguna, d_v . SNR target SU dan batas interferensi yang ditentukan PU akan memengaruhi nilai OP, *throughput* rata-rata SU dan PU, serta jumlah SU yang tidak mendapatkan d_v *resource*.

Kata Kunci—MC-LDSMA, *Underlay*, *Cognitive Radio*, NOMA, Alokasi *Resource*.

I. PENDAHULUAN

Skema *spectrum sharing* pada sistem radio kognitif dinilai mampu meningkatkan efisiensi penggunaan spektrum. Terdapat dua definisi pengguna pada skema ini, yaitu pengguna primer (*primary user*, PU)/*licensed user* dan pengguna sekunder (*secondary user*, SU)/pengguna kognitif (*cognitive*

user, CU)/*unlicensed user*. SU diperbolehkan mengakses spektrum yang dimiliki oleh PU pada tiga skema akses dinamis, satu di antaranya adalah *underlay*.

Pada skema *underlay*, SU diperbolehkan melakukan transmisi secara bersamaan dengan PU, dengan syarat level interferensi yang diakibatkan oleh SU terhadap PU masih di bawah batas interferensi/*threshold* yang telah ditentukan. Banyaknya kebutuhan akses oleh SU membutuhkan adanya skema akses jamak yang mampu meningkatkan efisiensi penggunaan spektrum sekaligus mengatur interferensi multipengguna.

Multicarrier low-density signature multiple access (MC-LDSMA) merupakan skema akses jamak *non-orthogonal multiple access* (NOMA) domain kode [1], [2]. Seperti pada *low density sequence orthogonal frequency division multiplexing* (LDS-OFDM) [3], pada MC-LDSMA, setiap pengguna akan melakukan penempatan simbol yang ditransmisikan pada sejumlah *subcarrier* dan setiap *subcarrier* dapat diakses oleh sejumlah pengguna. Alokasi *resource* pada sistem MC-LDSMA dan LDS-OFDM telah dilakukan, tetapi keduanya tidak membahas alokasi *resource* pada sistem komunikasi radio kognitif [2], [4].

Studi mengenai alokasi *resource* pada sistem komunikasi radio kognitif pada skema *underlay* cukup banyak dilakukan [5]-[11]. Referensi [5], [6] mengalokasikan *resource* bagi SU pada sistem *orthogonal frequency division multiple access* (OFDMA), sehingga antar SU tidak saling menginterferensi. Referensi [7] melakukan alokasi *resource* dengan mengasumsikan skema akses jamak yang digunakan SU adalah *code division multiple access* (CDMA), sedangkan referensi [8]-[10] melakukan alokasi *resource* pada sistem LDS-OFDM. Referensi [8], [9] mengalokasikan *resource* berdasarkan batas interferensi, tetapi pada [9] juga dipertimbangkan parameter *fairness metric* dalam proses alokasi *resource*. Pada [8], [9] dilakukan pemilihan *subcarrier* bagi SU, sedangkan pada [10] dilakukan alokasi daya pada SU untuk meningkatkan *throughput* rata-rata SU. Referensi [11] mengusulkan alokasi *resource* pada sistem *multicarrier* NOMA pada kondisi *underlay cognitive radio*. Alokasi *resource* pada sistem *multi-channel underlay cognitive radio* menggunakan *deep neural network* (DNN) telah pula dilakukan [12].

Penelitian pada makalah ini melanjutkan penelitian sebelumnya [8], [9]. Pada kedua penelitian tersebut, algoritme alokasi *resource* tidak lagi hanya memperhatikan batasan jumlah SU yang diizinkan mengakses *resource* yang sama (d_c) dan batas interferensi yang ditentukan oleh PU, tetapi juga memperhatikan faktor kualitas yang diharapkan SU, dalam hal ini dinyatakan dengan SNR target SU. Hal ini bertujuan untuk memastikan setiap SU tetap mampu melakukan transmisi dengan kualitas yang terjaga.

^{1,2,3,4} Universitas Telkom, Jl. Telekomunikasi No. 1, Ters. Bojongsong, Bandung, 40257 (e-mail:

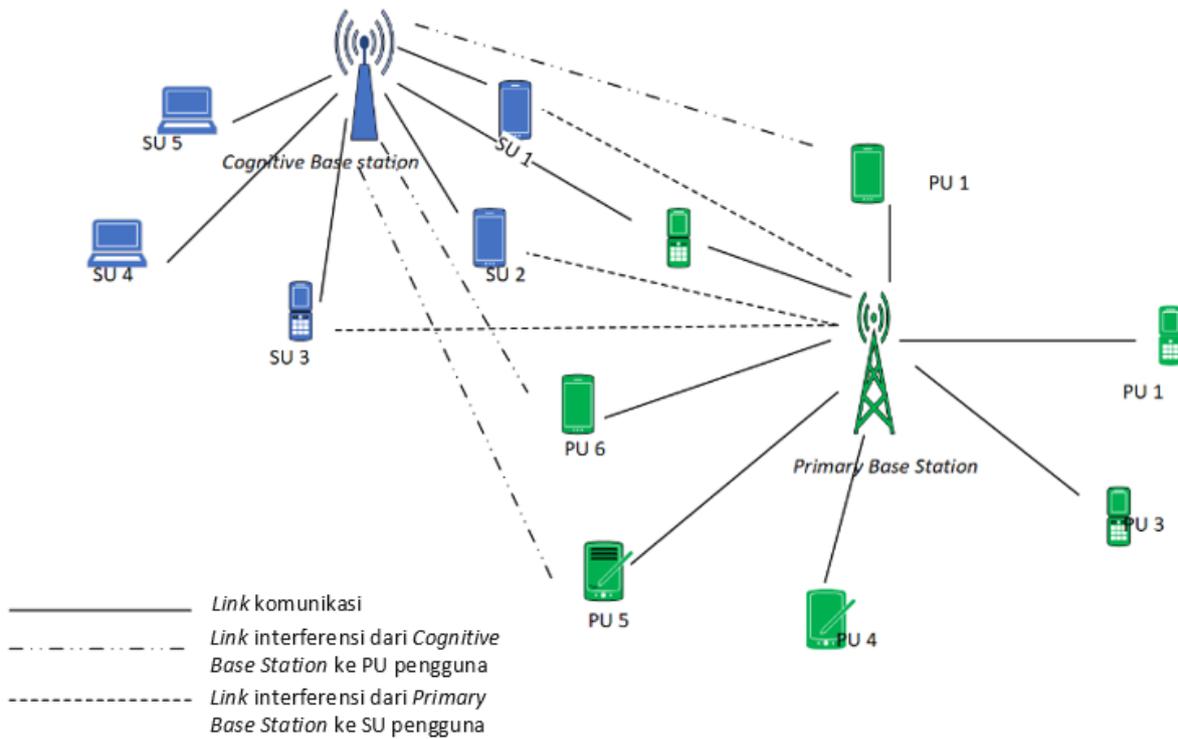
¹lindameylani@telkomuniversity.ac.id,

²nurandini@telkomuniversity.ac.id,

³destimadyasaputri@telkomuniversity.ac.id,

⁴iswahyuididayat@telkomuniversity.ac.id)

[Diterima: 23 Desember 2021, Revisi: 9 Januari 2022]



Gbr. 1 Model sistem.

Alur penulisan selanjutnya terdiri atas: Bagian II membahas sistem model dan formula masalah, sedangkan Bagian III membahas usulan alokasi *resource*. Bab 4 mendiskusikan hasil simulasi dan terakhir Bab 5 menyampaikan kesimpulan dari penelitian ini.

II. MODEL SISTEM

Pada makalah ini, SU dan PU diasumsikan berada pada lingkungan geografis yang sama. PU diasumsikan menggunakan skema akses jamak OFDMA, sehingga setiap PU akan mengakses *subcarrier*-nya sendiri dan tidak saling menginterferensi satu dengan lainnya. SU, di lain sisi, menggunakan skema akses jamak MC-LDSMA. Pada penelitian ini, diasumsikan sistem CR memiliki pengetahuan mengenai kondisi kanal PU dan memanfaatkannya untuk proses alokasi *resource*. Model sistem pada penelitian ini ditunjukkan pada Gbr. 1.

MC-LDSMA, seperti halnya LDS-OFDM, memiliki sifat *low density* pada kode penebarannya. Sistem ini mengizinkan setiap *subcarrier* pada sistem diakses oleh sejumlah d_c pengguna dari total J pengguna yang ada dan memperbolehkan setiap pengguna untuk mengakses sejumlah d_v *subcarrier* dari N total *subcarrier* yang ada pada sistem. Pada makalah ini, kode penebar tiap pengguna tidak dibangkitkan secara langsung, tetapi berdasarkan alokasi *resource* yang diperoleh setiap pengguna, yang dipengaruhi oleh parameter d_c dan d_v .

Pada sistem yang dibangun terdapat sejumlah I pengguna PU dan J pengguna SU. Setiap pengguna PU akan mengakses *subcarrier* yang berbeda satu dengan lainnya, sehingga tidak saling menginterferensi, sedangkan SU akan menggunakan skema akses jamak MC-LDSMA dengan parameter d_c dan d_v ,

tertentu, dengan $d_c < J$ dan $d_v < N$. Dengan mengasumsikan setiap *subcarrier* PU akan diakses oleh sejumlah d_c SU, maka persamaan sinyal terima pada PU *base station* pada *subcarrier* ke- n dinyatakan dengan (1).

$$y_n(t) = c_{pu\ i,n} \cdot h_{pu\ i,n} + \sum_{j \in S_l} c_{su\ j,n} \cdot g_{su\ j,n} + v_n \quad (1)$$

dengan $y_n(t)$ merupakan sinyal terima pada PU *base station*; $c_{pu\ i,n}$ dan $c_{su\ j,n}$ masing masing merupakan simbol milik PU dan SU yang dikirimkan melalui *subcarrier* ke- n ; $h_{pu\ i,n}$ dan $h_{su\ j,n}$ secara berurutan merupakan *gain* kanal dari PU dan SU pada *subcarrier* ke- n ; v_n merupakan AWGN; sedangkan S_l merupakan sekelompok pengguna SU yang mengakses *subcarrier* ke- n . Batas interferensi yang ditentukan oleh PU dinyatakan dengan I_l . Oleh sebab itu, total interferensi yang diizinkan pada *subcarrier* ke- n dinyatakan dengan (2).

$$I_{total,n} = \sum_{j \in S_l} p_{su\ j,n} \cdot |g_{j,n}|^2 \leq I_l \quad (2)$$

dengan $p_{su\ j,n}$ merupakan daya SU ke- j pada *subcarrier* ke- n . Untuk memformulasikan alokasi *subcarrier* bagi SU, digunakan indeks alokasi *resource*, $x_{n,i}$. Jika SU dialokasikan pada *subcarrier* ke- n , maka $x_{n,i} = 1$, dan sebaliknya jika SU tidak teralokasi pada *subcarrier* ke- n , maka $x_{n,i} = 0$.

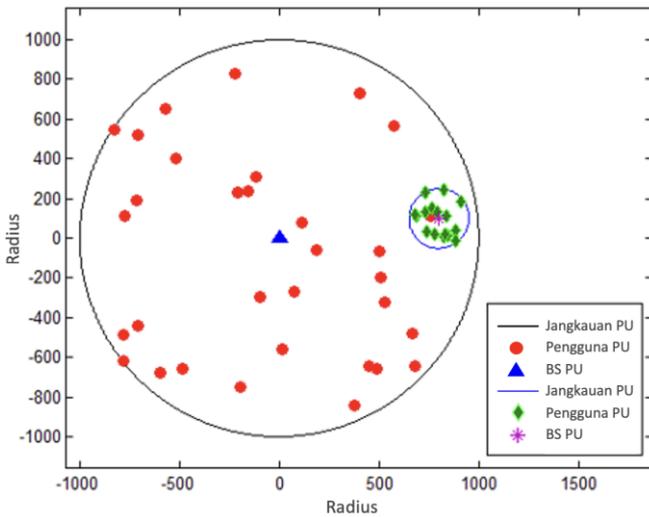
Pada proses alokasi *resource* yang diusulkan, setiap SU memiliki target SNR yang sama, yang dinyatakan dengan (3).

$$SNR_{j,n} = \frac{p_{su\ j,n} \cdot |h_{su\ j,n}|^2}{\sigma^2 W_n + p_{pu\ i,n} \cdot |g_{pu\ i,n}|^2 + \sum_{k \neq j, k \in S_l} p_{su\ k,n} \cdot |h_{su\ k,n}|^2} \quad (3)$$

dan nilai *throughput* SU direpresentasikan dalam (4).



Gbr. 2 Tahapan alokasi resource.



Gbr. 3 Pembangkitan PBS dan CBS dengan 32 pengguna PU, 16 pengguna SU.

$$R_{j,n} = \log_2 \frac{p_{su,j,n} |h_{su,j,n}|^2}{\sigma^2 W_n + p_{pu,i,n} |g_{pu,i,n}|^2 + \sum_{k \neq j, k \in S_l} p_{su,k,n} |h_{su,k,n}|^2} \quad (4)$$

dengan syarat

$$p_{su,j,n} = \frac{P_{su,j}}{d_v} \quad (5)$$

$$P_{su,j} \leq P_{su,max}, j \in J \quad (6)$$

$$p_{su,j,n} \leq 1, j \in J \text{ dan } n \in N \quad (7)$$

$$x_{j,n} \in \{0,1\}, j \in J \text{ dan } n \in N \quad (8)$$

$$\sum_{j \in S_l} x_{j,n} \leq d_c, n \in N \quad (9)$$

$$\sum_{n \in N_l} x_{j,n} \leq d_v, j \in J \quad (10)$$

III. USULAN ALOKASI RESOURCE

Secara umum, proses alokasi resource terdiri atas tiga tahapan, seperti ditunjukkan pada Gbr. 2. Tiga tahapan alokasi resource yang diusulkan dijelaskan sebagai berikut.

1) *Pembangkitan Posisi PU dan SU, PBS, dan CBS secara Acak*: Pada makalah ini, diasumsikan *primary base station* (PBS) memiliki jangkauan luas dibandingkan *cognitive base station* (CBS). Seperti ditunjukkan oleh Gbr. 3 dan Tabel I, terlihat bahwa radius PU lebih luas dibandingkan SU.

2) *Perhitungan Gain Kanal*: Perhitungan gain kanal dilakukan dengan mengikuti model kanal Cost 231-WI.

3) *Proses Alokasi Resource*: Alokasi resource bagi SU dilakukan dengan mempertimbangkan kualitas yang diharapkan oleh SU, dengan mengasumsikan bahwa SNR minimum yang diharapkan oleh SU adalah 10 dB.

TABEL I
PARAMETER SIMULASI

Parameter	Keterangan
Jumlah subcarrier total	128
Jumlah PU	4
Jumlah SU	2-32
Koordinat PBS	(0,0)
Kordinat CBS	(700,20)
Radius PU	800 m
Radius SU	150 m
Rapat daya derau	-174 dBm/Hz
Model kanal	Cost 231-WI
Daya PU maks	23 dBm
Daya SU maks ($P_{su,max}$)	30 dBm
Daya SU pada subcarrier	$P_{su,max}/d_v$
Akses jamak PU	OFDMA
Akses jamak SU	MC-LDSMA

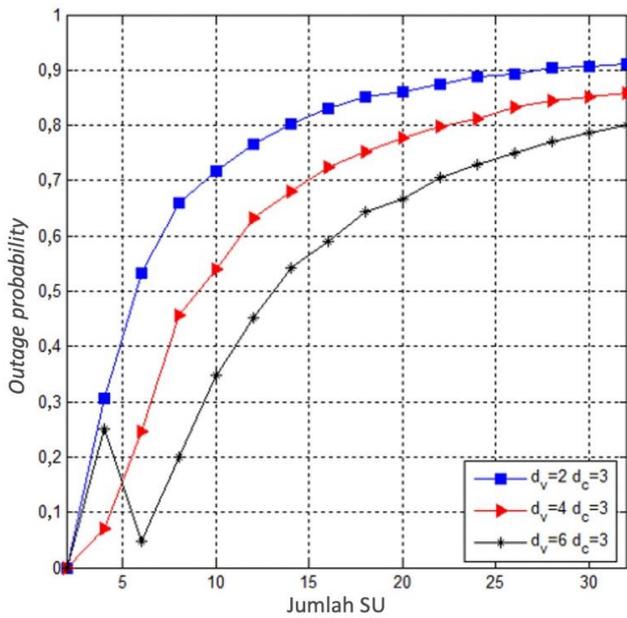
Algoritme alokasi resource 1 melakukan alokasi resource bagi setiap SU, diawali dengan mengalokasikan pengguna primer PU pada subcarrier-nya tanpa saling menginterferensi satu dengan lainnya. SU akan melakukan pengecekan nilai interferensi yang disebabkan oleh keberadaan PU dan akan memilih d_v subcarrier yang terbaik baginya. Setelah SU mendapatkan alokasi subcarrier, nilai interferensi akan diperbarui dan dibandingkan dengan batasan SNR minimum yang dikehendaki SU. Proses berlanjut hingga semua pengguna mendapat kesempatan untuk dialokasi atau persyaratan telah terpenuhi, yaitu jumlah SU yang mengakses setiap subcarrier sudah berjumlah d_c pengguna.

Selain mempertimbangkan SNR minimum yang dikehendaki SU, proses alokasi resource pada algoritme alokasi resource 2 juga mempertimbangkan batasan interferensi yang ditentukan oleh PU yang berhubungan pula dengan SNR target PU. Parameter sistem yang digunakan pada makalah ini ditunjukkan oleh Tabel I.

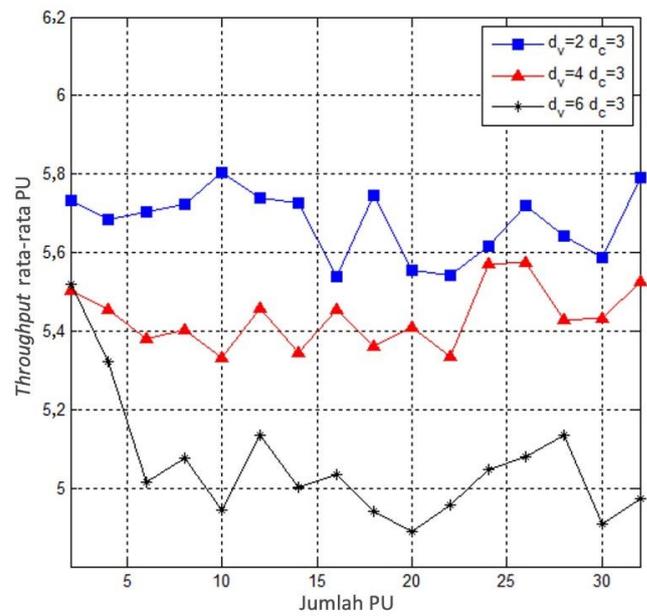
IV. HASIL SIMULASI

Pada bagian ini ditunjukkan hasil simulasi dari algoritme alokasi resource yang diusulkan. Beberapa parameter yang digunakan ditunjukkan pada Tabel I. Kinerja alokasi resource yang diusulkan dilihat terhadap parameter *outage probability* (OP), nilai *throughput* SU dan PU, serta jumlah SU yang mendapatkan alokasi resource kurang dari d_v subcarrier. OP menyatakan jumlah pengguna yang mendapatkan alokasi resource berdasarkan SNR target SU dan batas interferensi PU.

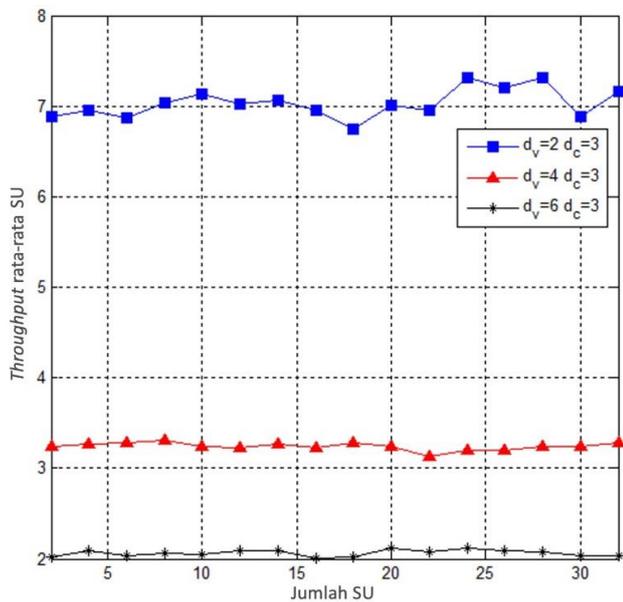
Gbr. 4 menunjukkan nilai OP dari proses alokasi resource yang diusulkan, yakni dengan mempertimbangkan SNR target yang diinginkan oleh SU sebagai syarat pertama dan batas interferensi yang ditentukan oleh PU sebagai syarat kedua. Proses alokasi resource diawali dengan pencarian subcarrier yang memenuhi persyaratan SU. Ketika sistem mendeteksi sejumlah d_v subcarrier, sistem akan menghitung, batas interferensi yang ditentukan oleh PU masih dapat dipenuhi atau tidak. Ketika kedua persyaratan terpenuhi, SU akan dialokasikan pada resource yang diharapkan. Namun, ketika kedua persyaratan utama tersebut tidak terpenuhi, maka SU tidak akan memperoleh resource yang diharapkan. Gbr. 4



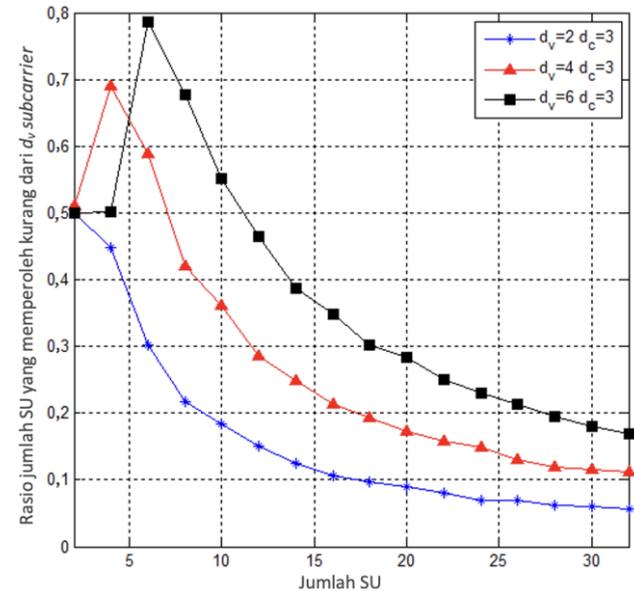
Gbr. 4 Outage probability.



Gbr. 6 Throughput rata-rata PU.



Gbr. 5 Throughput rata-rata SU.



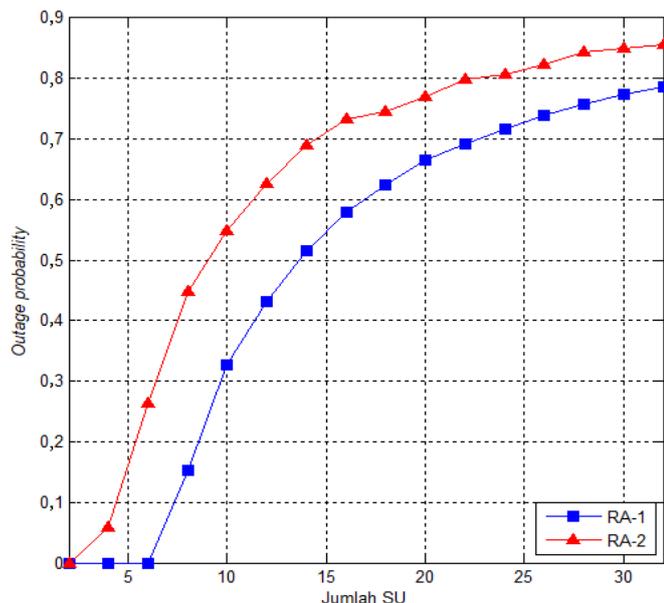
Gbr. 7 Rasio SU yang mendapatkan alokasi kurang dari d_v subcarrier.

menunjukkan pengaruh variasi parameter d_v terhadap OP. Terlihat bahwa ketika sistem menentukan jumlah *subcarrier* yang dapat diakses oleh SU sedikit (ditandai dengan nilai d_v kecil), maka ketika SU telah mendapatkan d_v *subcarrier* yang sesuai dengan syarat pertama, tetapi tidak memenuhi syarat kedua, SU tidak akan mendapatkan alokasi *resource* pada *subcarrier* yang diharapkan. Ketika d_v bernilai kecil, kesempatan mendapatkan alokasi *resource* yang memenuhi syarat pertama dan kedua lebih kecil dibandingkan dengan nilai d_v yang lebih besar. Oleh sebab itu, pada d_v kecil, nilai OP lebih tinggi, jika dibandingkan ketika d_v bernilai besar.

Nilai *throughput* rata-rata SU dan PU ditunjukkan pada Gbr. 5 dan Gbr. 6 secara berurutan. Terlihat bahwa ketika parameter d_v rendah, *throughput* PU dan SU menjadi lebih tinggi. Hal ini

sesuai dengan (4), yaitu perhitungan nilai *throughput* bagi SU dipengaruhi oleh interferensi dari PU dan SU lain yang mengakses *subcarrier* yang sama. Meskipun d_v yang tinggi memungkinkan SU untuk mendapatkan alokasi *resource*, daya transmisi pada setiap *subcarrier* yang digunakan menjadi lebih kecil, yaitu P_{su}/d_v , sehingga akan menjadikan interferensi dari SU lain bernilai lebih kecil dibandingkan ketika d_v bernilai rendah. Pada perhitungan *throughput* pada PU berlaku hal yang sama, yaitu interferensi akan disebabkan oleh SU yang mengakses *subcarrier*-nya, tetapi tidak ada interferensi dari PU lain.

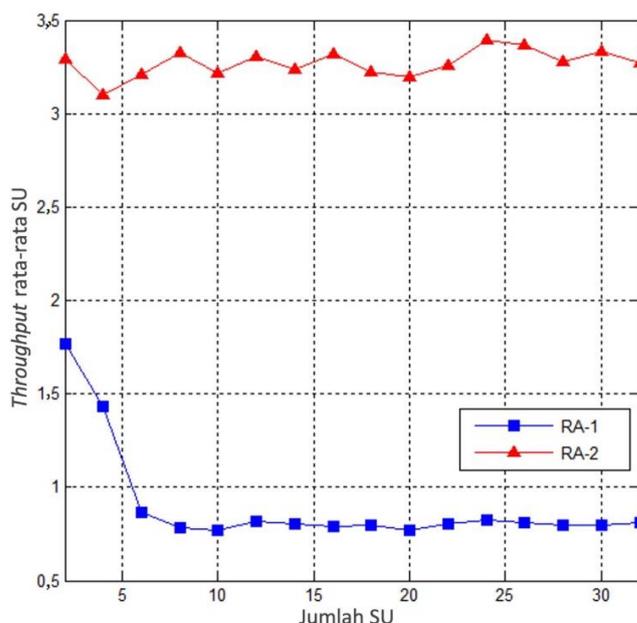
Kurva pada Gbr. 7 menunjukkan perbandingan jumlah SU yang memperoleh alokasi sejumlah kurang dari d_v *subcarrier* terhadap total SU. Pengaturan dilakukan dengan



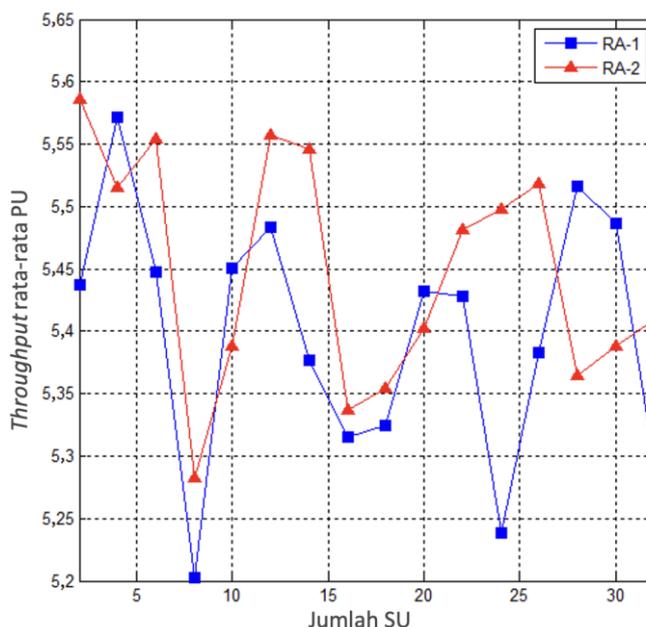
Gbr. 8 Perbandingan OP.

mempertimbangkan jumlah SU yang mengakses *resource* yang sama, $d_c = 3$. Terlihat bahwa semakin besar nilai d_v yang ditentukan, semakin besar pula jumlah SU yang memperoleh alokasi kurang dari d_v *subcarrier*, sehingga tidak sesuai dengan yang diharapkan. Disebabkan telah terpenuhinya persyaratan jumlah SU yang mengakses *resource*, terlihat bahwa dengan semakin besar nilai d_v yang ditentukan, semakin besar pula jumlah SU yang mendapatkan alokasi kurang dari d_v *subcarrier*. Namun, jika merujuk pada Gbr. 4, yang memperlihatkan nilai OP, terlihat bahwa semakin besar nilai d_v , semakin tinggi peluang SU mendapatkan alokasi *resource*, yang ditunjukkan dengan nilai OP yang rendah. Parameter rasio ini dipengaruhi pula oleh penentuan nilai d_c , jumlah SU dalam sistem, dan batas interferensi yang ditentukan oleh PU dan SNR target yang dikehendaki oleh SU.

Pada penelitian ini, dilakukan pula perbandingan kinerja alokasi *resource* dengan hanya menggunakan satu persyaratan, yakni SNR target SU, tanpa memperhatikan batas interferensi yang ditentukan PU. Gbr. 8 menunjukkan perbandingan nilai OP dari dua algoritme alokasi *resource* untuk $d_v = 4$ dan $d_c = 3$. RA-1 merupakan alokasi *resource* yang hanya mempertimbangkan satu persyaratan dalam proses alokasi *resource* dan tidak mengindahkan batas interferensi yang ditentukan oleh PU, sedangkan RA-2 mempertimbangkan dua persyaratan, yakni SNR target yang dikehendaki SU dan batas interferensi yang disyaratkan PU. Pada Gbr. 8 terlihat bahwa alokasi *resource* yang menggunakan dua persyaratan menyebabkan nilai *outage probability* semakin tinggi. Dengan kata lain, ada lebih banyak SU yang tidak mendapatkan alokasi *resource*, untuk nilai d_v dan d_c yang sama. Hal ini disebabkan adanya parameter tambahan yang digunakan. Meskipun SU telah memilih sejumlah d_v *subcarrier* yang memenuhi persyaratan yang dikehendakinya, jika diukur terhadap parameter batas interferensi PU/SNR target PU, sangat memungkinkan *subcarrier* yang terpilih tidak memenuhi syarat yang ditentukan PU.

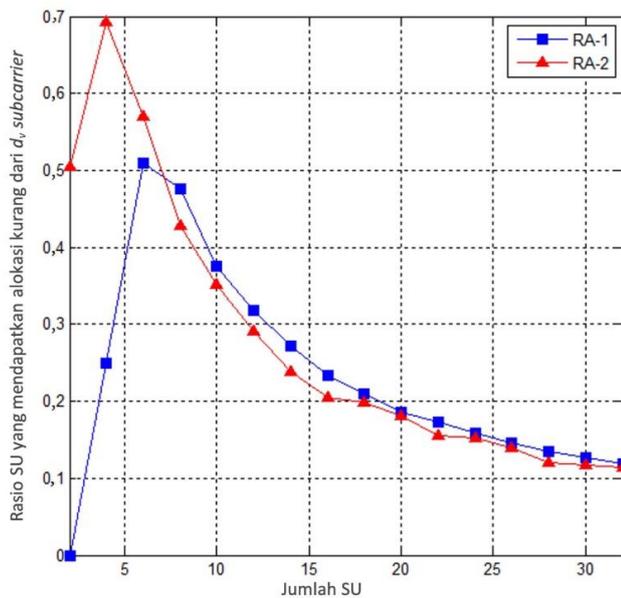


Gbr. 9 Perbandingan throughput SU.



Gbr. 10 Perbandingan throughput PU.

Throughput SU dan PU untuk perbandingan dua algoritme alokasi *resource* ditunjukkan pada Gbr. 9 dan Gbr. 10 secara berurutan. *Throughput* SU yang ditunjukkan pada Gbr. 9 memperlihatkan bahwa RA-2 memiliki nilai *throughput* rata-rata yang lebih tinggi bagi SU. Hal ini terjadi karena pada RA-2 jumlah SU yang teralokasi lebih sedikit dibandingkan RA-1, sehingga interferensi yang disebabkan oleh SU lain dan dirasakan oleh SU menjadi lebih kecil. Untuk *throughput* PU, terlihat bahwa baik RA-1 maupun RA-2 menunjukkan nilai yang relatif sama. Hal ini disebabkan oleh terpenuhinya persyaratan batas interferensi yang dikehendaki oleh PU dan secara tidak langsung akan menjaga nilai *throughput* PU pada suatu rentang tertentu.



Gbr. 11 Perbandingan rasio SU yang mendapatkan alokasi kurang dari d_v subcarrier.

TABEL II
PERBANDINGAN RA-1 DAN RA-2

Parameter Kinerja pada Jumlah SU = 20	RA-1	RA-2
OP	0,66	0,77
Throughput rata-rata SU	0,75	3,30
Throughput rata-rata PU	5,43	5,40
Rasio SU dengan alokasi kurang dari d_v subcarrier	0,19	0,18

Gbr. 11 menunjukkan perbandingan algoritme RA-1 dan RA-2 terhadap rasio pengguna SU yang mendapatkan alokasi subcarrier kurang dari d_v . Terlihat bahwa pada rentang jumlah pengguna dua sampai tujuh, RA-2 memiliki nilai rasio pengguna yang mendapatkan alokasi kurang dari d_v lebih tinggi dibandingkan RA-1. Namun, setelahnya RA-2 memiliki nilai rasio yang sedikit lebih rendah dibandingkan RA-1. Hal ini terjadi karena persyaratan yang harus dipenuhi oleh RA-2 lebih banyak dibandingkan RA-1, sehingga dalam proses alokasinya OP bernilai tinggi dan rasio SU yang teralokasi kurang dari d_v subcarrier juga meningkat. Akan tetapi, dengan bertambahnya jumlah SU dalam sistem, pada akhirnya meskipun RA-1 mendapatkan OP yang lebih rendah atau lebih banyak SU teralokasi, SU yang teralokasi ini ternyata jumlahnya lebih banyak yang kurang dari d_v subcarrier dibandingkan yang seharusnya.

Perbandingan antara RA-1 dan RA-2 ditunjukkan pada Tabel II. Terlihat bahwa pada jumlah SU dua puluh pengguna, OP pada RA-1 adalah 0,66, yang artinya 66% dari total pengguna tidak mendapatkan alokasi resource, sedangkan pada RA-2 terdapat 77% SU yang tidak mendapatkan alokasi resource. Meski demikian, RA-2 SU memiliki nilai throughput yang lebih tinggi dibandingkan RA-1.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi, dapat disimpulkan bahwa alokasi resource berdasarkan SNR target SU dapat dilakukan

pada tipe skema akses jamak MC-LDSMA pada sistem kognitif radio. Nilai parameter d_v dan d_c akan memengaruhi nilai OP serta throughput SU dan PU. Parameter d_v yang semakin tinggi akan menjadikan OP serta throughput PU dan SU semakin rendah dan menjadikan semakin besar jumlah SU yang mendapatkan alokasi kurang dari d_v subcarrier. Penggabungan parameter SNR target SU dan batas interferensi PU akan menjadikan lebih banyak jumlah SU yang tidak mendapatkan alokasi resource (dinyatakan dengan OP tinggi) untuk nilai d_c dan d_v yang sama.

KONFLIK KEPENTINGAN

Tidak terdapat konflik kepentingan dalam penulisan makalah ini.

KONTRIBUSI PENULIS

Konseptualisasi, Linda Meylani; metodologi, Linda Meylani, Nur Andini; perangkat lunak, Linda Meylani, Desti Madya Saputri; validasi, Linda Meylani, Nur Andini, Iswahyudi Hidayat; analisis formal, Linda Meylani; sumber daya, Linda Meylani, Desti Madya Saputri; kurasi data, Linda Meylani; penulisan-penyusunan draf asli, Linda Meylani, Iswahyudi Hidayat; penulisan-peninjauan dan penyuntingan, Nur Andini; Visualisasi, Desti Madya Saputri; pengawasan, Linda Meylani.

REFERENSI

- [1] M. Al-Imari, M.A. Imran, dan R. Tafazolli, "Low Density Spreading for Next Generation Multicarrier Cellular Systems," *2012 Int. Conf. Futur. Commun. Netw. (ICFCN)*, 2012, hal. 52–57.
- [2] M. Al-Imari, M. A. Imran, dan P. Xiao, "Radio Resource Allocation for Multicarrier Low-Density-Spreading Multiple Access," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol. 66, No. 3, hal. 2382–2393, Mar. 2017.
- [3] R. Hoshyar, R. Razavi, dan M. Al-imari, "LDS-OFDM an Efficient Multiple Access Technique," *IEEE 71th Veh. Technol. Conf.*, 2010, hal. 1–5.
- [4] M. Al-Imari, M.A. Imran, R. Tafazolli, dan D. Chen, "Subcarrier and Power Allocation for LDS-OFDM System," *IEEE Veh. Technol. Conf.*, 2011, hal. 1–5.
- [5] M. Pischella, D. Le Ruyet, dan C.C. Laetitia, "Cooperative Allocation for Underlay Cognitive Radio Systems," *2013 IEEE 14th Workshop Signal Proces. Adv. Wirel. Commun.*, 2013, hal. 245–249.
- [6] L. Lu, D. He, G.Y. Li, dan X. Yu, "Graph-Based Robust Resource Allocation for Cognitive Radio Networks," *IEEE Trans. Signal Process.*, Vol. 63, No. 14, hal. 3825–3836, Mei 2015.
- [7] L.B. Le dan E. Hossain, "Resource Allocation for Spectrum Underlay in Cognitive Radio Networks," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, Vol. 7, No. 12, hal. 5306–5315, 2008.
- [8] L. Meylani, A. Kurniawan, dan M.S. Arifianto, "Interference Limit Based Resource Allocation for Low Density Signature OFDM in Underlay Cognitive Radio Networks," *IEEE Region 10 Int. Conf. TENCN*, 2018, hal. 258–263.
- [9] L. Meylani, A. Kurniawan, dan M.S. Arifianto, "Radio Resource Allocation with the Fairness Metric for Low Density Signature OFDM in Underlay Cognitive Radio Networks," *Sensors*, Vol. 19, No. 8, Apr. 2019.
- [10] L. Meylani, I. Hidayat, A. Kurniawan, dan M. S. Arifianto, "Power Allocation for Group LDS-OFDM in Underlay Cognitive Radio," *2019 11th Int. Conf. Inf. Technol. Electr. Eng.*, 2019, hal. 1–5.
- [11] F. Mokhtari, M. Mirmohseni, F. Ashtiani, dan M. Nasiri-Kenari, "Resource Allocation in Cognitive Radio Inspired Non-Orthogonal Multiple Access," *2019 Iran Work. Commun. Inf. Theory*, 2019, hal. 1–6.
- [12] W. Lee, "Resource Allocation for Multi-Channel Underlay Cognitive Radio Network Based on Deep Neural Network," *IEEE Commun. Lett.*, Vol. 22, No. 9, hal. 1942–1945, Sep. 2018.