

Skema network coding dan teknik pemilihan relay pada modul WARP di lingkungan indoor

Nurul Hidayati¹, Rieke Adriati Wijayanti², Ahmad Wilda Yulianto³, Dianthy Marya⁴, Muhammad Syirajuddin Suja'i⁵

email: nurulhid8@polinema.ac.id, riekeaw@polinema.ac.id, ahmadwildan@polinema.ac.id, dianthy@polinema.ac.id, syirajuddin@polinema.ac.id

^{1,2,3,4,5}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia

Informasi Artikel

Riwayat Artikel

Diterima 15 Februari 2020

Direvisi 30 Maret 2020

Diterima 29 April 2020

Kata kunci:

Bit Error Rate

Indoor

Network coding

Pemilihan Relay

Throughput

WARP

ABSTRAK

Di penelitian ini telah dilakukan teknik pemilihan *relay* dengan metode *single relay selection* dikombinasikan dengan *network coding* yang diimplementasikan pada kanal real menggunakan modul Wireless Open-Access Research Platform (WARP) di lingkungan *indoor*. Tujuan penelitian untuk memilih *relay* terbaik dari beberapa *relay* sehingga memperpendek waktu pengiriman data dan dapat meningkatkan performansi melalui pengukuran *throughput*. Metode penelitian digunakan 4 WARP sebagai node, 2 sebagai node *source* dan *destination* dan 2 sebagai *relay*, penelitian dilakukan di lingkungan *indoor*. Pemilihan *relay* terbaik dari beberapa *relay* digunakan metode *single relay selection*. Pengukuran dilakukan dengan memvariasikan letak *relay* sehingga didapatkan hasil yang maksimal. Hasil penelitian didapatkan bahwa pemilihan *relay* terbaik didasarkan pada *relay* dengan BER terkecil dan jarak terpendek dari node sumber yang dipilih. Proses *network coding* juga dilakukan di sisi *relay* dan penerima. Hasil sesuai dengan tujuan penelitian bahwa *network coding* unggul dalam transmisi data, ditunjukkan dengan *cycle time network coding* lebih kecil dari pada *cycle time* tanpa *network coding*, karena *network coding* mempunyai 3 *timeslot* pada proses pengiriman data, sedangkan untuk tanpa *network coding* membutuhkan 4 *timeslot* dalam pengiriman data. Hasil penelitian juga didapatkan bahwa pengukuran *throughput*, *network coding* mempunyai *throughput* lebih besar 21.8% dibandingkan tanpa *network coding*.

ABSTRACT

In this research, the relay selection technique by applying the single relay selection method is combined with network coding implemented in real channels using the WARP module in an indoor environment. The research objectives are to choose the best relay from several relays and can improve performance through measurement of throughput. The research method used 4 WARPs as nodes, 2 as source and destination and 2 as relays. The process of selecting the best relay from several relays uses the single relay selection method. Measurements are made by varying the location of the relays to get best results. The results show that the relay with the smallest BER and minimum distance will be selected. Network coding is applied in relays and receiver. Network coding cycle time is better than without network coding, because network coding has 3 timeslots in the data transmission, whereas without network coding it requires 4 timeslots in data transmission. The results of the study for measuring throughput

that network coding throughput is 21.8% greater than without network coding.

Penulis Korespondensi:

Nurul Hidayati

Jurusan Teknik Elektro

Politeknik Negeri Malang,

Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia.

Email: nurulhid8@polinema.ac.id

1. PENDAHULUAN

Di komunikasi nirkabel, gangguan *fading* biasa disebabkan oleh fenomena lintasan jamak (*multipath*) saat pengiriman informasi dari pemancar ke penerima [1][2]. Gangguan *multipath fading* merupakan bentuk gangguan sinyal yang muncul saat sinyal mempunyai banyak jalur dari pemancar ke penerima. Jalur-jalur yang berbeda ini mengakibatkan bervariasinya kuat sinyal di penerima, ini berakibat dapat memperkuat atau memperlemah sinyal yang diterima. Gangguan ini dapat menyebabkan menurunnya performansi dari sistem komunikasi. Ditambah dengan jarak pengiriman informasi, semakin jauh jarak transmisi maka semakin besar pula energi yang dibutuhkan di pemancar.

Salah satu teknik efektif mengatasi permasalahan tersebut adalah komunikasi kooperatif dengan bantuan *relay* dalam pengiriman data. Komunikasi kooperatif digunakan untuk meningkatkan efisiensi energi, dengan menggunakan *relay* antara pemancar dan penerima, sehingga memperpendek jarak pengiriman dan dapat meminimalkan energi transmisi[3]-[5]. Teknik pemilihan *relay* dibutuhkan guna memilih *relay* yang terbaik untuk meningkatkan kinerja sistem komunikasi kooperatif. Isu keamanan dalam pengiriman data juga tidak kalah penting. Untuk meningkatkan keamanan pengiriman data yang dikirim dan juga menghemat *bandwidth* maka digunakan skema *network coding*[6]-[11]. *Network coding* adalah teknik di mana data yang dikirimkan dikodekan dan diterjemahkan untuk meningkatkan *throughput*, mengurangi keterlambatan dan membangun jaringan yang lebih kuat[3][6]-[13].

Penelitian sebelumnya telah dilakukan simulasi untuk teknik pemilihan *relay* terbaik, *single relay selection* dikombinasikan dengan *network coding* [1]. Software Matlab dipilih untuk simulasi. Dalam pemilihan relay terbaik digunakan SNR terbesar. Parameter yang diukur yaitu BER dan throughput untuk mengetahui performansi sistem. Hasil simulasi didapatkan bahwa kombinasi pemilihan relay terbaik dengan *network coding* dapat meningkatkan throughput sebesar 34% dibandingkan dengan pemilihan relay tanpa *network coding* [1]. Penelitian lain juga dilakukan simulasi penggabungan *relay selection* dengan *network coding* untuk meningkatkan kapasitas jaringan dan performansi. Metode dalam pemilihan relay terbaik menggunakan *Single Relay Selection Network Coding* (S-RS-NC) dan *Dual Relay Selection Network Coding* (D-RS-NC). Skema S-RS-NC digunakan untuk meminimalkan BER. Skema pemilihan relay dan *network coding* ini menghasilkan peformansi yang lebih baik apabila dibandingkan dengan pemilihan relay tanpa *network coding*, saat $2E_s > E_R$ [8]. Penelitian Younghui Li et al. dibahas simulasi *Relay Selection* dengan *Network Coding* (RS-NC) dengan teknik Min Max dalam pemilihan relay terbaik. Analisis diverifikasi menggunakan simulasi Monte Carlo. Penelitian ini bertujuan meningkatkan efisiensi transmisi dan performansi sistem. Hasil penelitian didapatkan bahwa skema RS-NC lebih optimal dibandingkan RS-No-NC [9]. Sejalan dengan penelitian tersebut, dilakukan simulasi *network coding* dengan *relay selection* menggunakan protokol DF (Decode and Forward) [3]. Teknik Pemilihan relay menggunakan metode max min dan SNR tertinggi. Simulasi menggunakan Monte Carlo yang bertujuan untuk mengkonfirmasi keakurasian perhitungan matematis yang dilakukan dan analisis keberagaman (*diversity*) yang diusulkan [3].

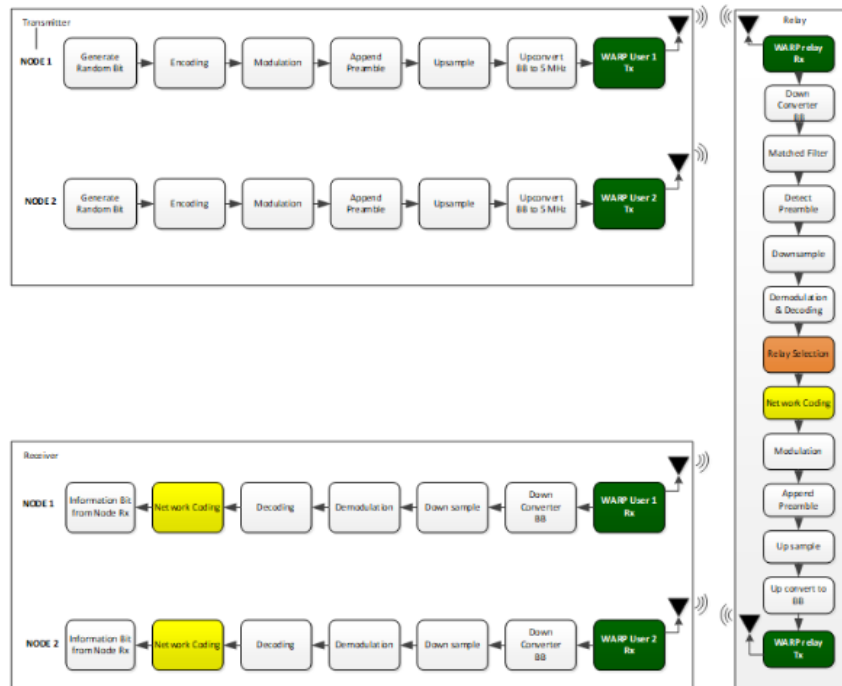
Penelitian-penelitian tersebut hanya dilakukan simulasi, sehingga pada penelitian kali ini diimplementasikan teknik pemilihan *relay* terbaik dengan *network coding* pada kanal *real* menggunakan modul *Wireless Open-Access Research Platform* (WARP). WARP merupakan salah satu bentuk dari SDR (*Software Defined Radio*). WARP biasa digunakan dalam komunikasi wireless, mempunyai fleksibilitas yang tinggi dan re-programmable sehingga efisien dalam mendesain sistem komunikasi [14][15]. Tujuan implementasi pemilihan relay dengan *network coding* pada modul WARP yaitu untuk pemilihan *relay* terbaik dari beberapa *relay* sehingga memperpendek waktu pengiriman data dan dapat meningkatkan performansi melalui pengukuran *throughput* melalui *network coding* yang diterapkan pada kanal *real* di lingkungan indoor.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian sebelumnya [1] dilakukan simulasi *network coding* dan pemilihan *relay* menggunakan software MATLAB. Pada penelitian ini dilakukan implementasi *network coding* dan teknik pemilihan *relay* ke dalam modul *Wireless Open-Access Research Platform* (WARP) di lingkungan *indoor*. Metode *single relay*

selection digunakan untuk pemilihan relay, yaitu memilih satu *relay* terbaik dari *n-relay* yang ada. Dalam implementasi juga digunakan skema *network coding* dan tanpa *network coding*, setelah dilakukan pemilihan *relay* terbaik. Implementasi dilakukan di kondisi *indoor* dan NLOS (*Non Light Of Sight*). Implementasi dilakukan pada kanal *real* menggunakan modul WARP. Setelah itu dilakukan analisis *Bit Error Rate (BER)* terhadap hasil implementasi di WARP.

Dalam implementasi, terdapat 4 WARP yang digunakan sebagai node, dua WARP sebagai *node 1* dan *node 2*, dalam hal ini *node 1* dan *node 2* bertugas sebagai *source* dan *destination*. Kemudian dua WARP lainnya sebagai *node 3* dan *node 4*, bertugas sebagai *relay*. Blok diagram implementasi sistem pada WARP ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram implementasi sistem pada WARP

Implementasi di WARP dibagi menjadi 3 bagian, yaitu: di bagian pengirim (*transmitter*), *relay* dan penerima (*receiver*). Tahapan-tahapannya yaitu: proses *generate random bit*, *encoding*, *modulation append preamble*, *upsample* dan *upconvert*. Pada *generate random bit*, pembangkitan bit informasi secara acak dan bersifat *equiprobable*. Proses *encoding*, dimulai dengan mengkodekan bit informasi yang telah dibangkitkan sebelumnya dengan kode konvolusi. Pada matlab menggunakan fungsi “*convenc*”. Bit dikodekan dengan *code rate* 1/2, dengan metode kode konvolusi dengan trellis. Pada modulasi, bit yang dibangkitkan di mapping ke dalam simbol-simbol menggunakan teknik modulasi QPSK dengan M = 4, sehingga jumlah bit per simbol (k) yaitu 2. Hasil modulasi berupa simbol kompleks IQ (*Inphase Quadrature*). Deretan simbol tersebut ditambah dengan *preamble*. Pada *Upsample*, proses pembentukan pulsa dan *upsampling* ini dilakukan dengan melewati filter *Square Root Raised Cosine (SRRC)*. Pada *upconvert*, sinyal di *upconvert* ke frekuensi 5 MHz. Proses *upconvert* digunakan untuk menghindari pelemahan sinyal dari radio DC. Proses *upconvert* dilakukan dengan mengalikan sinyal terhadap frekuensi sinusoidal kompleks.

Di node *relay* terjadi proses pemilihan *relay* terbaik (*single relay selection*) dari 2 *relay* yang digunakan. Setelah itu dilakukan proses *network coding* untuk bit informasi dari *node 1* dan *node 2*. Bit informasi hasil *network coding* di *relay* ditransmisikan ke masing-masing *node*, sesuai tahapan pada Gambar 1. Dan setelah sampai *node 1* dan *2*, dilakukan proses *network coding* kembali untuk mendapatkan bit informasi dari *node* sumber.

2.1 Pemilihan Relay Terbaik

Sistem komunikasi *relay* terdiri dari 3 bagian, yaitu *Source*, *Relay*, dan *Destination*. Digunakan metode *single relay selection* dalam pemilihan *relay* terbaik. Pada *Single Relay Selection (SRS)* dipilih satu *relay* dari *multiple relay (n-relay)* yang tersedia. Terdapat *node 1 - S₁* (bisa sebagai *source* atau *destination*), *node 2 - S₂* (bisa sebagai *source* atau *destination*) dan *Relay* (sebanyak N *relay*), yang ditunjukkan pada Gambar 2.

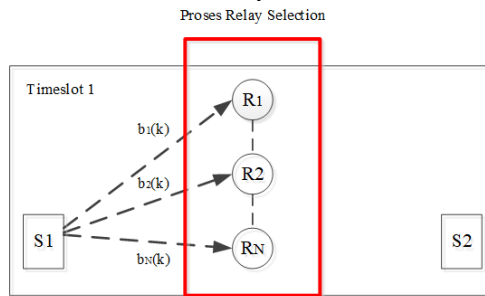
Tahapan *Single Relay Selection* sebagai berikut:

1. *Node 1* (S_1) mengirimkan bit informasi ke masing-masing *relay*, $b_1(k)$, $b_2(k)$
2. Bit dibangkitkan secara acak, encoding, dan modulasi. Kemudian dikirimkan melalui kanal. Informasi diterima pada *relay*, yang melalui tahapan-tahapan seperti pada Gambar 1.
3. Pada *relay* dilakukan proses decoding dan demodulasi. Bit hasil demodulasi pada masing-masing *relay* dihitung nilai BER.
4. Dibandingkan BER S_1 - R_1 , BER S_1 - R_2 sampai BER S_1 - R_N
5. Dipilih BER yang terkecil antara masing-masing *relay*, dan dipilih *relay* yang mempunyai BER terkecil sebagai R_s

Pemilihan *relay* terbaik menggunakan *Min BER Selection*, dengan persamaan [7]:

$$R_s = \arg \min \{P_{R_i}^b(\gamma_{S',R_i})\} \tag{1}$$

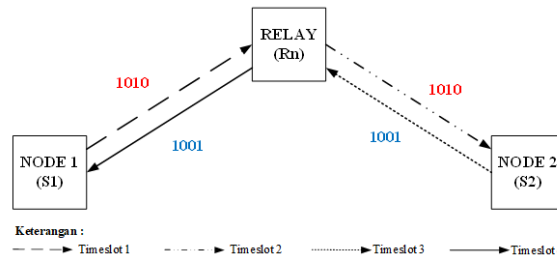
Dimana R_s adalah *relay* terbaik. $P_{R_i}^b$ merupakan probabilitas *error* dari sinyal hasil XOR di *relay*. *Equivalent SNR* pada sinyal hasil XOR pada *relay* R_i adalah γ_{S',R_i} .



Gambar 2. Proses Pemilihan Relay Terbaik

2.2 Network coding

Network coding merupakan teknik di mana data yang dikirimkan dikodekan dan diterjemahkan untuk meningkatkan *throughput* dan mengurangi keterlambatan. Kinerja *network coding* dibandingkan dengan tanpa *network coding* lebih baik dan efisien karena data yang dikirim dikombinasikan dengan pengkodean dari beberapa *node* (S_1 dan S_2) dengan satu pengiriman data. *Node 1* mengirimkan informasi ke *node 2*, dan *node 2* mengirimkan informasi ke *node 1*. Proses transmisi pada skema tanpa *network coding* menggunakan 4 *time slot*. Pada *time slot 1*, *node 1* mengirimkan paket S_1 ke *relay* R. Pada *time slot 2*, *Relay R* mengirimkan kembali S_1 ke *node 2*. Pada *time slot 3*, *node 2* mengirim paket S_2 ke *relay* R dan Pada *time slot 4*, *relay* R mengirimkan kembali informasi S_2 ke *node 1*, ditunjukkan pada Gambar 3.



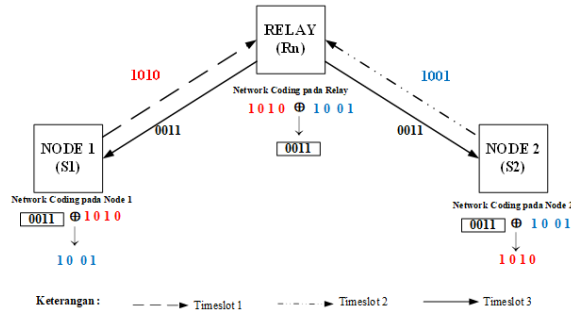
Gambar 3. Pengiriman data tanpa *network coding*

Pengiriman informasi yang sama dengan skema *network coding* digunakan 3 *timeslot* yang ditunjukkan pada Gambar 4. Pada *time slot 1*, *Node 1* mengirimkan S_1 ke *relay*. Kemudian pada *time slot 2*, *node 2* mengirimkan informasi S_2 ke *relay*. Setelah menerima informasi dari S_1 dan S_2 , *relay* kemudian membentuk pemetaan *network coding* $S_R = S_1 \oplus S_2$. Sedangkan pada S_1 dan S_2 terdiri dari simbol modulasi dan $S_1 \oplus S_2$ merupakan XOR. Simbol \oplus adalah simbol XOR. Pada *relay*, informasi dari *node 1* diXOR dengan informasi dari *node 2* sebagai berikut:

$$S_R = S_1 \oplus S_2 \tag{2}$$

Time slot ke 3, *Relay R* membroadcast S_R ke *node 1* dan *node 2*. Pada saat *node 1* menerima informasi dari S_R , S_1 mengekstrak informasi dari S_R untuk mendapatkan bit informasi dari S_2 . Sehingga dapat ditulis sebagai berikut:

$$S_1 \oplus S_R = S_1 \oplus (S_1 \oplus S_2) = S_2 \tag{3}$$

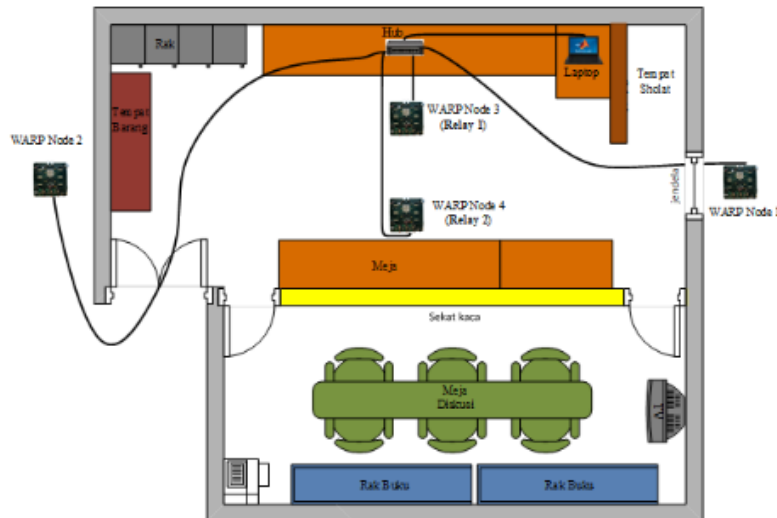


Gambar 4. Pengiriman data dengan *network coding*

Demikian juga pada *node 2* didapatkan hasil bit informasi S_1 berasal dari $S_2 \oplus S_R$. Proses *network coding* dilakukan oleh *relay* setelah melewati proses *decoding* dari paket-paket *node 1* dan *node 2* pada *time slot* yang berbeda.

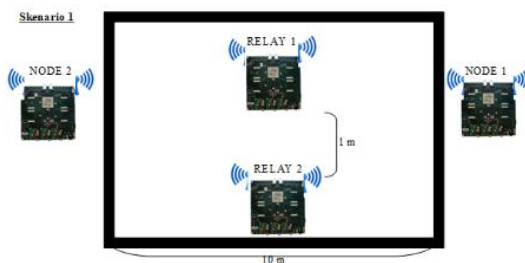
2.4. Skenario Pengukuran di Lingkungan Indoor

Ditetapkan beberapa skenario pengukuran di lingkungan *indoor* dilakukan untuk membandingkan pemilihan *relay* terbaik (*single relay selection*) dengan variasi jarak peletakan *relay*. Dan dibandingkan juga penerapan *network coding* dan tanpa *network coding* pada masing-masing skenario. Pengukuran dilakukan di dalam ruangan, denah pengukuran ditunjukkan pada Gambar 5.



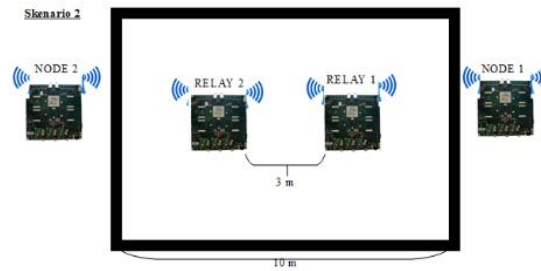
Gambar 5. Denah Pengukuran Indoor

Skenario pertama yaitu *node 1* (S1) dan *node 2* (S2) dikondisikan sejajar dengan jarak pada *node 1* (S1) ke *node 2* (S2) sebesar 10 meter. *Relay 1* dan *relay 2* terletak diantara *node 1* dan *node 2*. Jarak antara *relay 1* dan *relay 2* sebesar 1 meter. Antara *node* ke *relay* terdapat *obstacle* dinding, ditunjukkan pada Gambar 6.



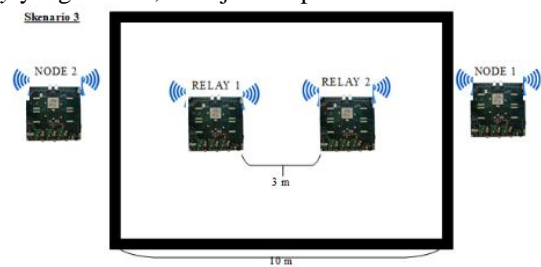
Gambar 6. Pengukuran Indoor Kondisi 1

Skenario kedua yaitu *node 1* (S1), *relay 1*, *relay 2* dan *node 2* (S2) dikondisikan sejajar dengan jarak pada *node 1* (S1) ke *node 2* (S2) sebesar 10 meter. *Relay 1* dan *relay 2* terletak diantara *node 1* dan *node 2*. Jarak *relay 1* dan *relay 2* sebesar 3 meter. Antara *node* ke *relay* terdapat *obstacle* dinding, ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengukuran Indoor Kondisi 2

Skenario ketiga yaitu *node 1 (S1)*, *relay 1*, *relay 2* dan *node 2 (S2)* dikondisikan sejajar dengan jarak pada *node 1 (S1)* ke *node 2 (S2)* sebesar 10 meter. *Relay 1* dan *relay 2* terletak diantara *node 1* dan *node 2*. Jarak *relay 1* dan *relay 2* sebesar 3 meter. Antara *node* ke *relay* terdapat *obstacle* dinding. Perbedaan dengan skenario 2 adalah posisi *relay* yang ditukar, ditunjukkan pada Gambar 8.



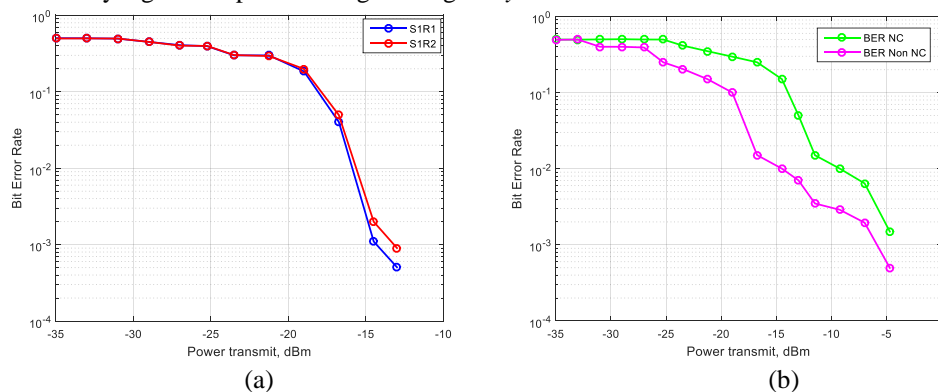
Gambar 8. Pengukuran Indoor Kondisi 3

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi pemilihan *relay* terbaik menggunakan *single relay selection* dan *network coding* pada modul WARP (*Wireless Open Access Research Platform*) dilakukan pada lingkungan *indoor*. Parameter yang dibandingkan adalah BER untuk *single relay selection* dengan skema *network coding* dan tanpa *network coding*.

3.1. Pengukuran Indoor Skenario 1

Pengukuran skenario 1 dimulai dengan *node 1 (S1)* mengirimkan bit informasi ke *relay 1* dan *relay 2*, dilakukan pemilihan *relay* terbaik. Setelah nilai BER didapatkan, proses pemilihan *relay* terbaik berdasarkan nilai BER terkecil yang diterima pada masing-masing *relay*.



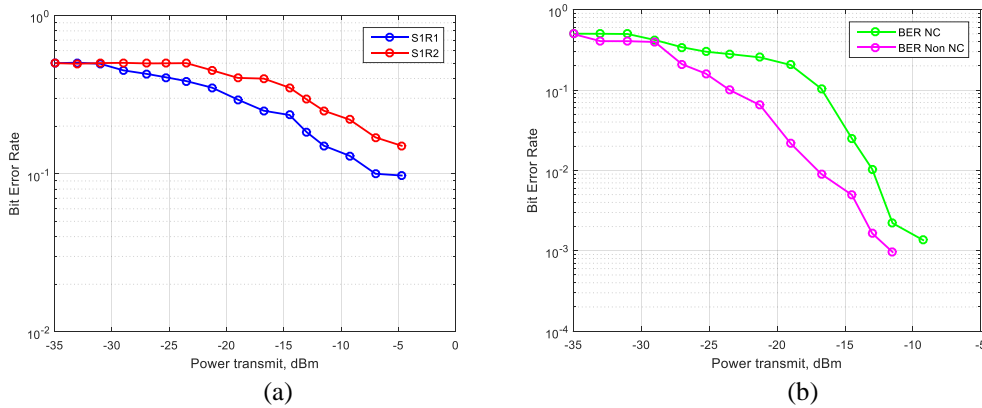
Gambar 9. (a) Pemilihan relay terbaik untuk skenario ke-1, (b) Perbandingan Nilai BER menggunakan *Network coding* dan tanpa *Network coding* untuk skenario 1

Berdasarkan Gambar 9 (a), didapatkan bahwa BER bernilai 0.0005 saat level daya pancar sebesar -13 dBm (pengiriman dari S1 ke *relay 1*), sedangkan BER bernilai 0.0009 saat level daya pancar sebesar -13 dBm (pengiriman dari S1 ke *relay 2*). Ini berarti *relay 1* lebih bagus dari pada *relay 2*. Sehingga untuk proses selanjutnya dilakukan proses *network coding* terhadap bit informasi dari *node 1 (S1)* dan bit informasi dari *node 2 (S2)*, hasil XOR ditransmit melalui *relay* terbaik, yaitu *relay 1* ke masing-masing *node*. Setelah data diterima pada masing-masing *node*, hasil pengukuran BER sistem *relay selection* dengan *network coding* dan tanpa *network coding* ditunjukkan pada Gambar 9 (b). Nilai BER tanpa *network coding* sedikit lebih bagus dari

pada menggunakan skema *network coding* disebabkan karena pada skema *network coding*, simbol dari *node 1* yang dikirim ke *node relay* melalui kanal terkena *noise*, begitu pula pada *node 2*. Kedua paket bit tersebut dilakukan proses *network coding* di *relay* dan saat pengiriman kembali ke masing-masing *node* terkena *noise* kembali. Berbeda dengan skema tanpa *network coding* di mana simbol dari *node 1* yang terkena *noise* langsung dikirim ke *node 2* melalui *relay* yang terbaik. Tetapi di sisi lain *network coding* unggul dalam waktu transmisi (*cycle time*), karena hanya membutuhkan 3 *timeslot* sedangkan tanpa menggunakan *network coding* yang membutuhkan 4 *time slot*.

3.2. Pengukuran Indoor Skenario 2

Gambar 10 (a). dihasilkan BER bernilai 0.0974 saat diberikan gain maksimal sebesar 60 atau saat level daya pancar sebesar -4.71 dBm (pengiriman dari S1 ke *relay 1*), sedangkan BER bernilai 0.1501 saat level gain maksimal sebesar 60 atau saat level daya pancar sebesar -4.71 dBm (pengiriman dari S1 ke *relay 2*). Ini berarti *relay 1* lebih bagus dari pada *relay 2*. Ini juga dipengaruhi karena jarak *node 1* ke *relay 1* lebih dekat daripada *node 1* ke *relay 2* (*minimum distance*). Pemilihan *relay* dengan jarak terpendek dari *source*, meminimalkan level daya yang dipancarkan jadi BER menjadi lebih kecil.

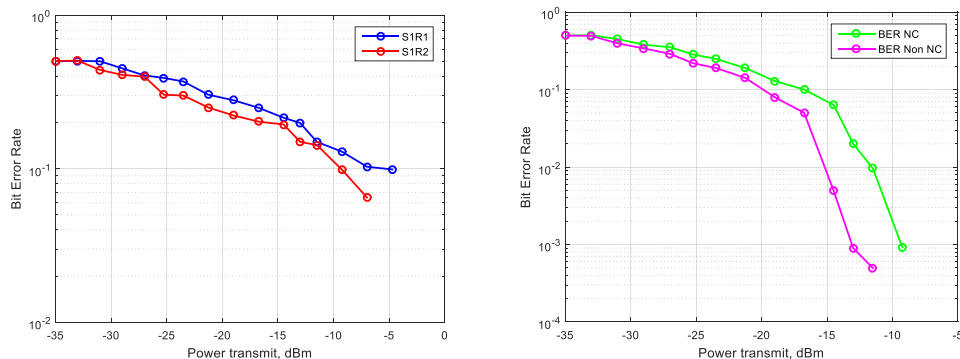


Gambar 10 (a). Pemilihan relay terbaik untuk skenario ke-2, (b) Perbandingan Nilai BER menggunakan *Network coding* dan tanpa *Network coding* untuk skenario 2

Gambar 10 (b) ditunjukkan bahwa BER bernilai 0 saat diberikan gain sebesar 56 atau saat level daya pancar sebesar -7 dBm (*network coding*), sedangkan BER bernilai 0 saat level gain sebesar 52 atau saat level daya pancar sebesar -9.25dBm (tanpa *network coding*).

3.3. Pengukuran Indoor Skenario 3

Gambar 13 dihasilkan bahwa saat level daya pancar sebesar -4.7143 dBm, BER bernilai 0.0990 untuk pengiriman dari S1 ke *relay 1*, sedangkan pengiriman dari S1 ke *relay 2*, BER bernilai 0. Ini berarti *relay 2* lebih bagus dari pada *relay 1*, nilai BER di *node relay 2* lebih kecil daripada BER di *node relay 1*. Sehingga dipilih *node relay 2* sebagai *relay* terbaik. Setelah itu dilakukan *network coding* untuk bit informasi dari *node 1* (S1) dan *node 2* (S2) di *relay 2*.



Gambar 10 (a). Pemilihan relay terbaik untuk skenario ke-3, (b) Perbandingan Nilai BER menggunakan *Network coding* dan tanpa *Network coding* untuk skenario 3

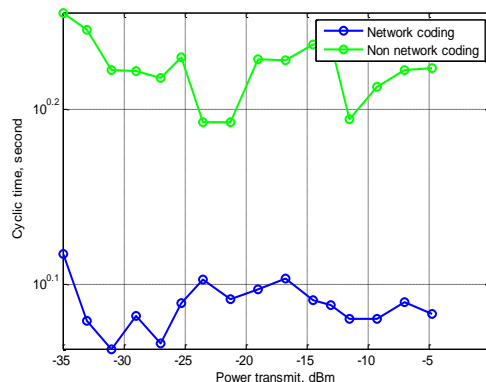
Hasil *network coding* dikirim ke *node 1*, dan dilakukan proses *network coding* dengan bit informasi *node 1* untuk mendapatkan bit informasi dari *node 2*, begitu pula di *node 2*. Pada Gambar 11 (b) didapatkan

bahwa saat level daya pancar sebesar -9.25 dBm atau *gain* sebesar 52, BER bernilai 0.0009 saat menggunakan *network coding* dan BER bernilai 0 saat tanpa *network coding*.

Secara garis besar nilai BER pada skema tanpa *network coding* sedikit lebih kecil dibandingkan dengan *network coding* disebabkan karena pada skema *network coding*, simbol dari *node 1* yang terkena *noise* di XOR dengan simbol *node 2* yang terkena *noise* sebelum proses decoding dan demodulasi, berbeda dengan skema tanpa *network coding* di mana simbol dari *node 1* yang terkena *noise* langsung dikirim ke *node 2* melalui *relay* yang terbaik. Tetapi di sisi lain *network coding* unggul dalam waktu transmisi data, karena hanya membutuhkan 3 *timeslot* dalam mengirim data dari S1 ke S2 dibandingkan tanpa menggunakan *network coding* yang membutuhkan 4 *timeslot*. Selain itu juga *network coding* unggul dalam *throughput*

3.4. Pengukuran Cycle time

Cycle time merupakan waktu yang dibutuhkan sistem untuk menyelesaikan suatu siklus, dari awal sampai akhir.

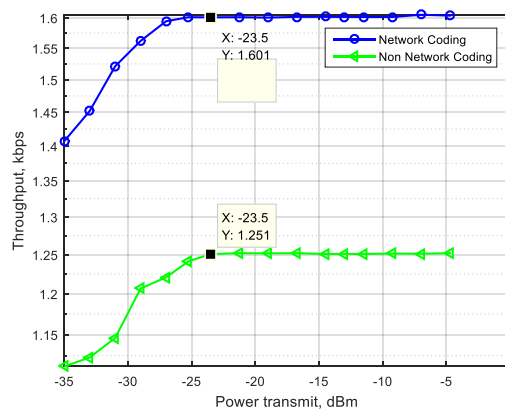


Gambar 11. *Cycle time* pada *relay selection* dengan *network coding* dan tanpa *network coding*

Berdasarkan Gambar 12. didapatkan bahwa *cycle time network coding* lebih kecil dari pada *cycle time* tanpa *network coding*. Ini karena *network coding* terdapat 3 *timeslot* pada proses pengiriman data, sedangkan untuk tanpa *network coding* membutuhkan 4 *timeslot* dalam pengiriman data.

3.5. Analisis Throughput di Lingkungan Indoor

Throughput merupakan parameter yang menandakan kualitas jaringan. Berikut ini pengukuran *throughput* pada kondisi NLOS.



Gambar 12. Perbandingan *Throughput* dengan *Network coding* dan tanpa *Network coding*

Pengukuran di lingkungan *indoor*, skema *network coding* mempunyai *throughput* 21.8% lebih besar dibandingkan tanpa *network coding*, ditunjukkan pada Gambar 13. Semakin tinggi nilai *throughput* maka semakin bagus performansi suatu jaringan dalam pengiriman data.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini didapatkan bahwa pada pengukuran *indoor* proses pemilihan *relay* dengan memvariasikannya letak *relay* menunjukkan bahwa *node* sumber memilih *relay* dengan nilai BER yang terkecil, selain itu pemilihan *relay* juga dipengaruhi jarak terpendek (*minimum distance*), yang mana *node* sumber memilih *relay* yang terdekat dengannya. Pemilihan *relay* dengan jarak terpendek dari *node* sumber,

meminimalkan level daya yang dipancarkan jadi BER menjadi lebih kecil. Nilai BER pada skema tanpa *network coding* sedikit lebih kecil dibandingkan dengan *network coding*. *Network coding* unggul dalam transmisi data, ditunjukkan dengan *cycle time network coding* lebih kecil dari pada *cycle time* tanpa *network coding*. Karena *network coding* mempunyai 3 *timeslot* pada proses pengiriman data, sedangkan untuk tanpa *network coding* membutuhkan 4 *timeslot* dalam pengiriman data. Selain itu, *network coding* juga mempunyai *throughput* lebih besar 21.8% dibandingkan tanpa *network coding*.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Hidayati, Suwadi, dan Wirawan. 2018. "Performance of best relay selection in single relay selection scheme with network coding", pada *Proceeding 2017 2nd International Conferences on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering*, Yogyakarta 2017, Tersedia : IEEE Xplore, <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8285534>
- [2] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 2001
- [3] T. Vu, P. Duhamel, and M. Renzo, "On the Diversity of Network-Coded Cooperation with Decode-and-Forward Relay Selection", *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 14, no. 18, pp. 4369-4378, 2015.
- [4] Aria et al. "Cooperative Communication in Wireless Networks". *IEEE Communication Magazine Adaptive Antennas and MIMO Systems for Wireless Communications*. pp. 74-80, 2004.
- [5] Y. W. Peter Hong, W.J. Huang, C. C. Jay Kuo, *Cooperative Communications and Networking Technology and Sytem Design*, London : Springer, 2010.
- [6] R. Yeung. *Network coding Theory*. Boston: Publisher Inc, 2006.
- [7] T. Ho dan D. S. Lun. *Network coding an Introduction*. New York: Cambridge University Press, 2008.
- [8] J. Liang and J. Chen. 2013. "Joint Relay selection and Network coding for Error -Prone Two-Way Decode-and-Forward Relay Networks," *IEEE Transactions. Communications*, vol. 31, no. 3, pp. 476–488
- [9] Y. Li, S. Member, R. H. Y. Louie, S. Member, and B. Vucetic, "Relay Selection With Network coding in Two-Way Relay Channels," *IEEE Transaction. Veh. Technology.*, vol. 59, no. 9, pp. 4489–4499, 2010.
- [10] Y. Jiang, I. W.-H. Ho, Z. Sattar, Q. F. Zhou, dan F. C. M. Lau, "Paired-relay-selection schemes for two-way relaying with network coding," *IET Commun.*, vol. 9, no. 6, pp. 888–896, 2015.
- [11] Q. Zhou, Y. Li, F. Lau, dan B. Vucetic, "Decode-and-Forward Two-Way Relaying with Network coding and Opportunistic Relay Selection," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 58, no. 11, pp. 3070–3076, 2010.
- [12] C. Fragouli dan E. Soljanin, *Network Coding Applications*, Boston : Foundations and Trends in Networking, 2007.
- [13] M. Merard dan A. Sprintson, *Network Coding Fundamentals and Applications*, United States : Elsevier Inc., 2012.
- [14] P. Murphy, A. Sabharwal, B. Aazhang, "Design of WARP: a Wireless Open-Access Research Platform," 14th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2006), Florence, 2006.
- [15] Maxim Integrated Product MAX2829/2829 Single-/Dual-Band 802.11a/b/g World-band Transceiver Ics Datasheet. 2004.