

Sistem Komunikasi Kooperatif Multiuser Menggunakan Network Coding

Anindita Kemala Hardiani

Suwadi

Wirawan

anindital4@mhs.ee.its.ac.id

suwadi@ee.its.ac.id

wirawan@ee.its.ac.id

Jurusan Teknik Elektro, Institute
Teknologi Sepuluh Nopember (ITS),
Surabaya, Indonesia

Jurusan Teknik Elektro, Institute
Teknologi Sepuluh Nopember (ITS),
Surabaya, Indonesia

Jurusan Teknik Elektro, Institute
Teknologi Sepuluh Nopember (ITS),
Surabaya, Indonesia

Abstrak

Perkembangan teknologi pada sistem komunikasi nirkabel mempunyai beberapa kendala yaitu *multipath fading*, gangguan keamanan dan rendahnya *throughput*. Penerapan metode *physical network coding* (PNC) dengan menggabungkan beberapa informasi dan mentransmisikan dengan dasar XOR dapat meningkatkan *throughput* dan ketahanan keamanan pada sistem komunikasi nirkabel. Sistem XOR yang digunakan pada metode PNC dapat memperpendek jarak pada saat pengiriman informasi, sehingga waktu yang dibutuhkan untuk menerima informasi dapat lebih singkat. Sistem komunikasi kooperatif merupakan teknik *diversity* yang memanfaatkan sumber daya dari *node-node* untuk meningkatkan seluruh kinerja jaringan nirkabel. Kinerja sistem komunikasi kooperatif menggunakan skema *decode and forward*, sinyal informasi pertama melalui proses demodulasi dan decode kemudian di *forward* ke tujuan. Penelitian ini menggabungkan sistem komunikasi kooperatif dengan *network coding* menggunakan 3 user. Hasil penelitian menghasilkan nilai BER pada sistem komunikasi kooperatif *network coding* lebih baik dibandingkan dengan sistem komunikasi *network coding*. Pada sistem komunikasi kooperatif *network coding* BER bernilai 0 pada saat SNR 10 dB, sedangkan pada sistem komunikasi *network coding* BER bernilai 0 pada saat SNR 15 dB. Nilai *throughput* yang didapat pada sistem komunikasi kooperatif *network coding* lebih baik dibandingkan dengan sistem komunikasi *network coding*. Kedua sistem tersebut mengalami kenaikan secara maximum pada SNR 11 dB dengan menghasilkan nilai *throughput* 20,5 kbps.

Kata Kunci — *Network Coding*, Kooperatif, *Physical network coding*.

Abstract

Technological developments in the wireless communication system have several obstacles, such as *multipath fading*, security interference, and low *throughput*. The application of *physical network coding* (PNC) method by combining some information and transmits with the XOR base can increase the *throughput* and security robustness in wireless communication system. XOR system used at PNC method can shorten the distance of information delivery, so there will be less time required to receive the information. The cooperative communication system is one of *diversity* technique that use the resources from the nodes to improve the overall performance of the wireless network. The cooperative communication system perform by using *decode and forward* scheme, the first information signal are sent through demodulation and decode process, then forwarded to the destination. This study combines the cooperative communication

systems with *network coding* using three user. This research resulted on better BER value in cooperative communication *network coding* system when compared with the *network coding* communication system. In the cooperative *network coding* communication system, BER can get zero result when SNR reach at the 10 dB, while in the *network coding* communication system, the SNR needs to reach 15 dB to get BER to zero. *Throughput* values obtained on cooperative *network coding* communication system are better than the *network coding* communication system. Both systems have increased in maximum value at 11 dB SNR and resulted *throughput* value of 20.5 Kbps.

Keywords — Cooperative, Multiuser, *Network coding*, PNC

I. PENDAHULUAN

Berkembangnya teknologi saat ini tetapi tidak dapat terhindar dari adanya permasalahan *fading*. Sinyal yang dikirim dapat secara langsung maupun terjadi pantulan, sehingga dapat terjadi kesalahan pendeteksian sinyal. Teknik *diversity* merupakan salah satu teknik yang dapat mengatasi permasalahan tersebut. Penggunaan teknik *diversity* diharapkan dapat menghasilkan informasi *redundant*, jika sinyal informasi pada salah satu lintasan mengalami kerusakan karena pengaruh *fading* maka proses deteksi pada *destination* masih dapat dilakukan dengan baik karena masih terdapat sinyal informasi yang berasal dari lintasan lain.

Sistem komunikasi kooperatif merupakan proses pengiriman sinyal secara *independent* satu dengan yang lain dimana sumber daya terbagi antara beberapa node dalam sebuah jaringan. Penggunaan teknik tersebut dapat meningkatkan efektifitas *quality of service* pada *bit error rate* (BER) [1]. Prinsip kerja sistem komunikasi *network coding* adalah menggabungkan informasi secara linier dan mentransmisikan ke dalam satu aliran. Skema *network coding* menggunakan XOR sebagai dasar untuk melakukan pertukaran informasi antar node. Teknik *network coding* menghasilkan kinerja yang lebih efisien dari segi waktu dan jarak pada proses pengiriman informasi dengan menggabungkan informasi beberapa user dalam satu kali pengiriman. Salah satu metode berbasis *network coding* yang diusulkan untuk mengeksplorasi gelombang EM adalah *physical Network Coding* (PNC). Pada *physical Network Coding* (PNC), pengirim dapat menerima lebih dari satu node dan pada penerima dapat menerima informasi secara bersamaan. Penggabungan teknik kooperatif dengan *network*

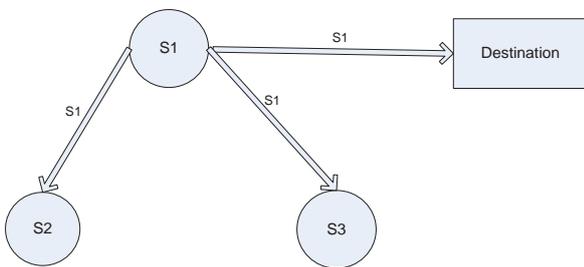
coding dapat meningkatkan kinerja sistem komunikasi seperti *throughput*, ketahanan, kompleksitas dan keamanan [2].

Pada penelitian sebelumnya [3] dengan menggabungkan sistem komunikasi kooperatif dengan *pseudo physical layer network coding amplifier and forward* (PPNCAF) menggunakan 2 user. Pada *timeslot* pertama masing-masing user saling mengirimkan informasi ke user lain dan *destination*. Sedangkan pada *timeslot* kedua informasi yang diterima pada *relay* akan melakukan proses XOR dan proses *combining* pada penerima. Pada penelitian ini menggunakan simulasi dengan menggabungkan kooperatif *multiuser network coding* menggunakan *relay decode and forward* dengan menggunakan 3 user pada proses pengiriman. Proses *combining* kooperatif dilakukan pada penerima. Dengan menggunakan simulasi, penulis mengharapkan dapat mengetahui kelebihan dari *network coding* jika dikombinasikan dengan sistem komunikasi kooperatif.

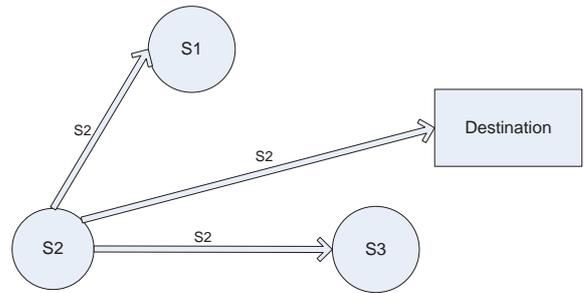
Sisa makalah ini tersusun atas: Bagian II menjelaskan model sistem pada pengiriman dan penerimaan informasi, bagian III menjelaskan design metode sistem yang akan digunakan, bagian IV menjelaskan analisa hasil simulasi dan bagian V menjelaskan kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan oleh penulis.

II. MODEL SISTEM

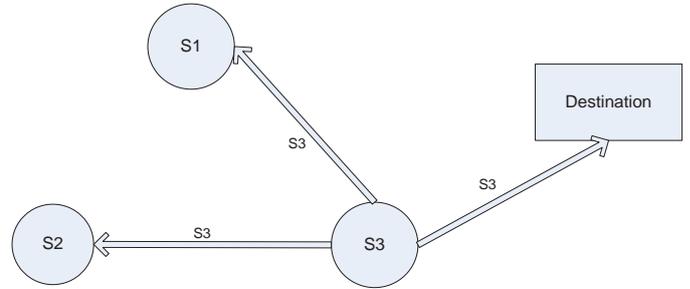
Pada penelitian ini menggunakan metode *physical network coding* (PNC). Penggunaan metode tersebut dapat mengurangi jumlah *timeslot* dari enam *timeslot* menjadi tiga *timeslot* untuk pengiriman informasi 3 user. Pada Gambar 1, 2, 3 dan 4 ditunjukkan skema penggabungan kooperatif dengan *network coding*. Pada *timeslot* pertama user pertama saling mengirimkan informasi secara orthogonal ke user lain dan *destination*. Pada *timeslot* kedua informasi yang berada pada s2 mengirimkan informasi ke user lain dan *destination*. Pada *timeslot* ketiga informasi yang berada pada s3 mengirimkan informasi pada user lain dan *destination*. Pada *timeslot* keempat [3] informasi yang dikirim mengalami proses xor pada *relay* dengan menggunakan metode *physical network coding*. Sistem kooperatif menggunakan pengkodean *decode and forward* (DF) dan *combining* dilakukan pada sisi penerima.



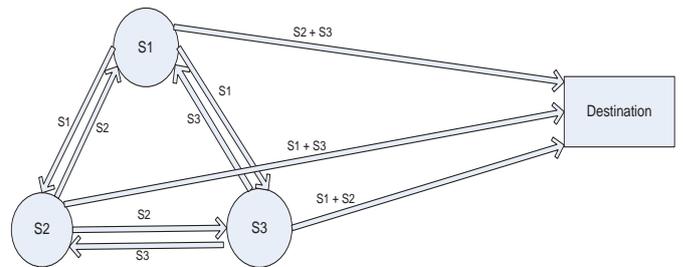
Gambar 1. Timeslot pertama



Gambar 2. Timeslot kedua



Gambar 3. Timeslot ketiga



Gambar 4. Timeslot keempat

A. Sistem Komunikasi Kooperatif

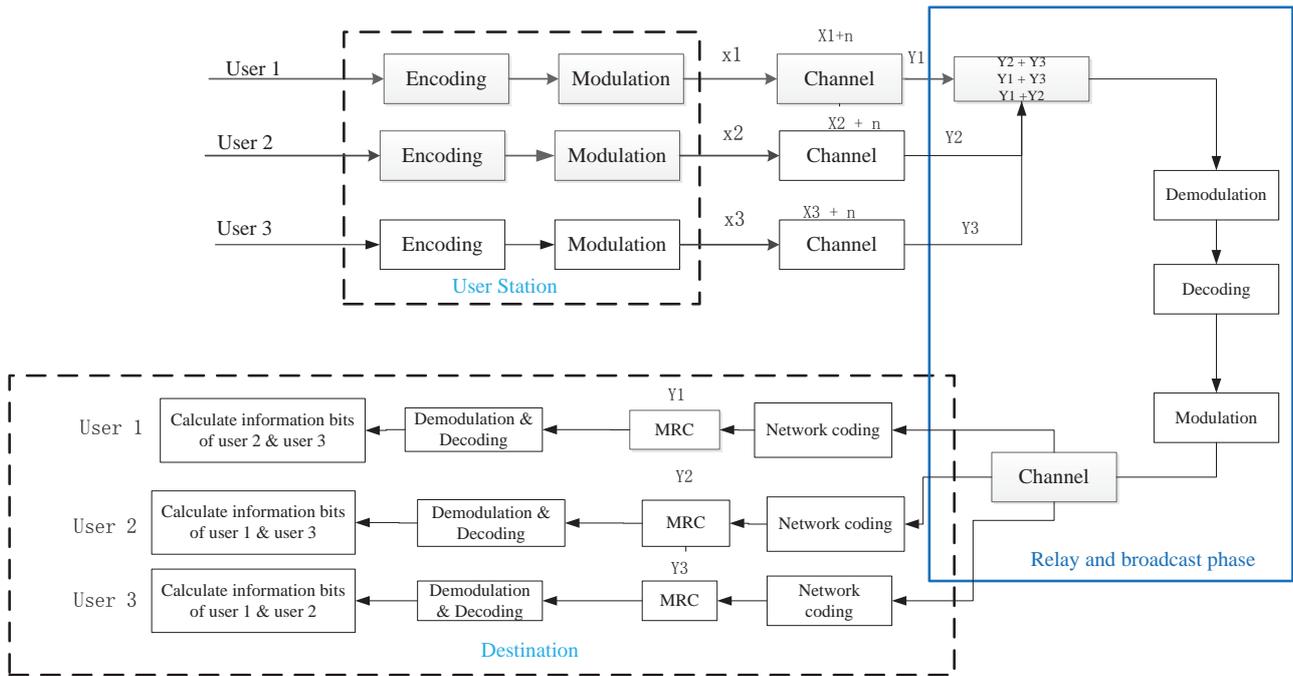
Pada protocol *relay decode and forward*, sinyal yang diterima di *Relay* didekodekan terlebih dahulu sebelum dikirim ke *destination*. Sinyal tidak akan diperkuat karena melalui proses decoding. Proses *decoding* dilakukan dengan dua cara yaitu pertama dikodekan dengan cara mengkodekan sinyal informasi secara keseluruhan dan kedua mengkodekan informasi per simbol. Pengiriman informasi dilakukan dengan melalui dua *phase*. Pada *phase* pertama *source* mengirimkan *codeword* M simbol (X_s). Semua m dimisalkan

$E[X_s[m]^2] = 1$ Persamaannya dapat ditulis sebagai berikut [4] :

$$y_r(m) = h_{s,r} \sqrt{P_s} x_s(m) + n_r(m) \quad (1)$$

$$y_d^{(1)}(m) = h_{s,d} \sqrt{P_s} x_s(m) + n_d(m) \quad (2)$$

Dimana $h_{s,r}$, $h_{s,r}$ dan $h_{s,d}$ merupakan koefisien kanal yang mempunyai nilai sama. P_s , P_s dan P_s merupakan daya pancar dari source sedangkan $n_r[m]$ dan $n_d[m]$ merupakan *additive*



Gambar 5. Sistem komunikasi kooperatif network coding 3 user.

white gaussian noise pada relay dan destination. Pada phase kedua destination menerima sinyal dari relay. Dituliskan dalam persamaan [4]:

$$y_d^{(2)}(m) = h_{r,d} \sqrt{P_s} x_s(m) + n_d^2(m) \quad (3)$$

B. Sistem Komunikasi Kooperatif Network Coding

Penggabungan sistem kooperatif dengan network coding dapat menghasilkan kinerja yang lebih baik. Metode network coding dapat menghemat waktu pada proses pengiriman informasi dengan menggabungkan informasi yang dikirim dengan pengkodean beberapa user dalam satu kali pengiriman. Perancangan sistem dapat dilihat pada Gambar 5.

Pada penelitian sebelumnya [5] menerapkan metode physical network coding (PNC) dengan menggunakan 2 user pada proses pengiriman informasi. Dengan pengembangan pada penelitian sebelumnya, metode network coding pada penelitian ini menggunakan physical network coding (PNC) 3 user, dengan menambahkan noise menjadi beberapa paket untuk diteruskan ke relay. Diasumsikan PNC mapping untuk 3 user, masing – masing node menggunakan modulasi QPSK pada pengiriman informasi. Masing – masing user saling mengirimkan informasi ke user lain yang dapat ditulis dengan persamaan :

$$y_{12} = h_1 \sqrt{P_2} x_1 + n_1 \quad (4)$$

$$y_{13} = h_1 \sqrt{P_3} x_1 + n_1 \quad (5)$$

$$y_{21} = h_2 \sqrt{P_1} x_2 + n_2 \quad (6)$$

$$y_{23} = h_2 \sqrt{P_3} x_2 + n_2 \quad (7)$$

$$y_{31} = h_3 \sqrt{P_1} x_3 + n_3 \quad (8)$$

$$y_{32} = h_3 \sqrt{P_2} x_3 + n_3 \quad (9)$$

Antar ketiga user menerima informasi yang telah dikirim pada user lain. Informasi yang diterima pada destination dapat ditulis dengan :

$$y_{d12} = h_{d1} \sqrt{P_1} x_{d1} + n_{d1} \quad (10)$$

$$y_{d21} = h_{d2} \sqrt{P_2} x_{d2} + n_{d2} \quad (11)$$

$$y_{d31} = h_{d3} \sqrt{P_3} x_{d3} + n_{d3} \quad (12)$$

Pada tahap selanjutnya informasi yang telah tersimpan pada relay akan digabungkan dengan user lain yang dituliskan dengan :

$$x_1 = y_{21} + s_3 \quad (13)$$

$$x_2 = y_{12} + s_3 \quad (14)$$

$$x_3 = y_{12} + s_2 \quad (15)$$

Destination akan menerima informasi dari proses penggabungan pada relay, yang dituliskan :

$$y_{d1} = h_{d1} \sqrt{P_1} x_1 + n_{d1} \quad (16)$$

$$y_{d2} = h_{d2} \sqrt{P_2} x_2 + n_{d2} \quad (17)$$

$$y_{d3} = h_{d3} \sqrt{P_3} x_3 + n_{d3} \quad (18)$$

Pada *destination node*, informasi dari *source node 1*, *source node 2* dan *source node 3* akan mengalami proses *network coding* kembali dengan melakukan pengurangan terhadap simbol informasi aslinya untuk mendapatkan informasi yang diinginkan dengan dituliskan :

$$z_{11} = y_{d1} - y_{31} \tag{19}$$

$$z_{12} = y_{d1} - y_{23} \tag{20}$$

$$z_{21} = y_{d2} - y_{13} \tag{21}$$

$$z_{22} = y_{d2} - y_{31} \tag{22}$$

$$z_{31} = y_{d3} - y_{21} \tag{23}$$

$$z_{32} = y_{d3} - y_{12} \tag{24}$$

C. Proses Combaining Pada Penerima

Proses *combaining* dilakukan pada penerima dengan menggunakan teknik *maximum ratio combining* (MRC). Tiap sinyal yang diterima akan dikalikan dengan nilai konjugasi dari koefisien kanal. Informasi yang telah dilalui oleh proses *network coding* dari *relay* ke *destination* dikalikan dengan nilai konjugasi pada tiap sinyal. Kemudian dijumlahkan dengan informasi yang diterima dari *source* ke *destination* yang telah dikalikan dengan nilai konjugasi pada setiap sinyal. Sehingga dapat dituliskan dengan :

$$y_d = \sum^n K = 1x_n h_n^* \tag{25}$$

Dimana K merupakan banyak cabang diversity dan h_n merupakan konjugasi koefisien kanal.

D. Modulasi QPSK

Modulasi QPSK merupakan salah satu modulasi digital *phase shift keying* (PSK) yang menggunakan teknik pengkodean M-ary, dimana M=4 yang merupakan bentuk turunan dari binary. Modulasi QPSK digunakan saat kondisi kanal antara pengirim dengan penerima buruk. Modulasi QPSK menghasilkan simbol kompleks IQ (*Inphase Quadrature*). Setiap dua bit informasi di *mapping* menjadi satu simbol. Fase yang sama membawa 1 dari 4 spasi nilai yang sama, seperti 0, $\pi/2$, π dan $3\pi/2$. Masing – masing fase mempresentasikan pasangan bit. Sinyal modulasi dapat dituliskan dengan [6] :

$$S_i(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cos(2\pi f_c t + \frac{2\pi}{M}(i-1)), 0 \leq t \leq T_s \tag{26}$$

E_s merupakan energi persimbol dengan $E_s = (\log_2 M)E_b$ dan T_s merupakan simbol periode dengan $T_s = (\log_2 M)T_b$. Dalam bentuk quadrature dapat dituliskan dengan [6]:

$$S_i(t) = \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cos[i - 1 \frac{2\pi}{M}] \cos(2\pi f_c t) - \sqrt{\frac{2E_s}{T_s}} \cos[i - 1 \frac{2\pi}{M}] \sin(2\pi f_c t) \tag{27}$$

E. Perhitungan BER

Pada penelitian ini melakukan perhitungan BER untuk mengetahui kelebihan *network coding* jika dibandingkan dengan sistem komunikasi kooperatif. Data yang masih berupa simbol diubah menjadi deretan bit yang terdiri dari satu baris, kemudian bit tersebut akan dibandingkan dengan bit yang ada disisi pengirim sehingga menghasilkan BER yang dapat ditulis dengan [7]:

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{E_b}{N_o}} \right) = Q \left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_o}} \right) \tag{28}$$

F. Perhitungan Throughput

Tingkat kesuksesan dari informasi yang dikirim dapat dilihat melalui nilai *throughput*. *Throughput* merupakan parameter yang diukur pada penelitian ini. Untuk menentukan nilai *throughput* dapat ditulis dengan [8]:

$$\text{Throughput} = \left(\frac{k}{T} \right) (1 - P_e) \tag{29}$$

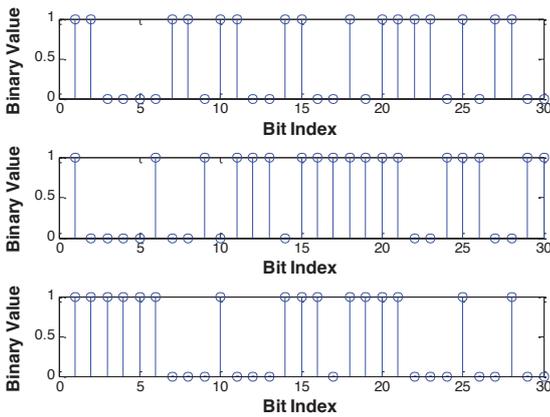
Dimana K merupakan jumlah bit yang terkirim benar, T merupakan waktu satu kali transmisi, dan P_e adalah informasi yang terkirim benar.

III. KINERJA SISTEM DAN ANALISA HASIL SIMULASI

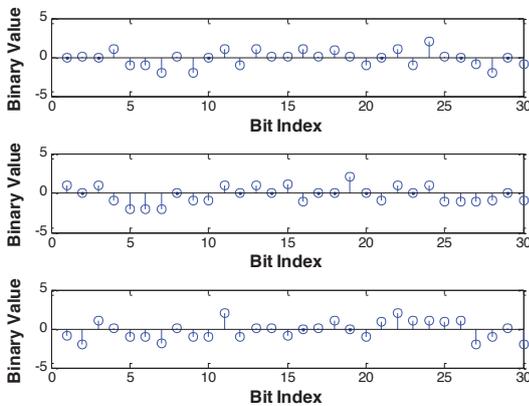
Perancangan sistem pada gambar 5 menggunakan *software* MATLAB. Pada tahap pertama *user 1*, *user 2* dan *user 3* mengirimkan informasi ke *node* lainya melalui *channel coding* terlebih dahulu sebelum dikirim. Setelah itu informasi tersebut di *encoding* dan dimodulasi menggunakan modulasi QPSK. Pada *node relay*, informasi dari *user 1*, *user 2* dan *user 3* melakukan proses *network coding* dengan menjumlahkan simbol *user 2* dan *user 3* pada *user 1*, menjumlahkan simbol *user 1* dan *user 3* pada *user 2* dan menjumlahkan simbol *user 1* dan *user 2* pada *user 3* menggunakan konsep *physical network coding* (PNC). Informasi yang dibroadcast ke masing-masing *user* melalui proses *decoding* dan modulasi QPSK terlebih dahulu. Namun pada informasi tersebut akan melakukan penambahan *noise*. Pada *destination* proses *network coding* terjadi dengan mengurangi informasi yang telah diproses di *relay* ke *destination node*. Proses *combaining* dilakukan pada *destination* dengan menggunakan MRC *combaining*. Sehingga *user 1* menerima informasi *user 2* dan *user 3*. *User 2* menerima informasi *user 1* dan *user 3* dan *user 3* menerima informasi *user 1* dan *user 2*. Kanal yang digunakan pada perancangan ini adalah dengan *Additive White Gaussian Noise* (AWGN).

A. Proses Binary Bit

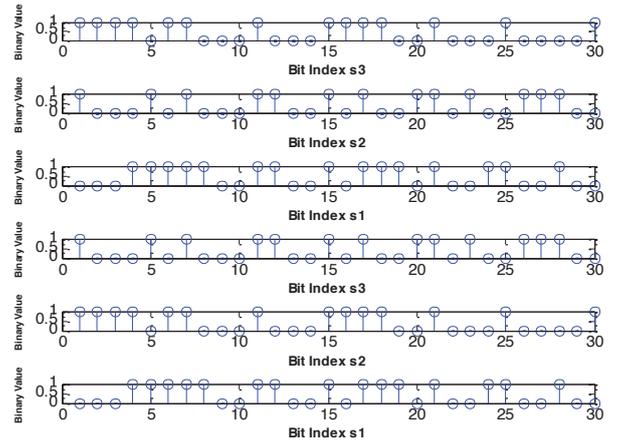
Tiap user akan membangkitkan bit informasi secara acak dimana kemungkinan kemunculan adalah bit 0 dan bit 1. Bit informasi yang akan dikirim dikode menggunakan kode konvolusi lebih dahulu dengan melewati *shift register* yang terdiri dari K (k-bit) tahap dan n disebut fungsi aljabar linear generator. Pada encoder data berupa bilangan biner. Selanjutnya bit yang telah dibangkitkan akan di mapping ke dalam bentuk modulasi QPSK dengan M= 4. Pada *source node 1*, *source node 2* dan *source node 3*, akan dikirim bit, yang dapat dilihat pada ilustrasi Gambar 6. Data yang dikirim berupa bilangan biner dengan membangkitkan dengan fungsi “randi”, selanjutnya akan dikirimkan ke *relay* dari *source node 1*, *source node 2* dan *source node 3*.



Gambar 6. Bit Yang Dikirim



Gambar 7. Hasil XOR pada relay



Gambar 8. Hasil sinyal yang diterima pada Destination.

B. Proses Pengiriman Informasi Pada Relay

Proses *relay* pada penelitian ini menggunakan logika XOR PNC untuk mengkodekan informasi dari *node 1*, *node 2* dan *node 3*. Terdapat tiga tahapan XOR yang dapat dilihat pada Gambar 4. Pertama bit informasi pada *node 2* dan *node 3* dikodekan kemudian dijumlahkan dengan fungsi XOR. Kedua bit informasi pada *node 1* dan *node 3* dijumlahkan dengan fungsi XOR dan ketiga bit informasi pada *node 1* dan *node 2* dijumlahkan dengan fungsi XOR. Hasil XOR pada *relay* dapat dilihat pada Gambar 7.

C. Proses Pada Penerima

Proses pada penerima melalui dua tahap yaitu proses *network coding* dan proses *combining*. Pada proses *network coding*, Informasi yang dikirim dari *note relay* berupa simbol IQ kemudian dikirim ke *destination* melalui pengurangan simbol IQ dengan *source node*.

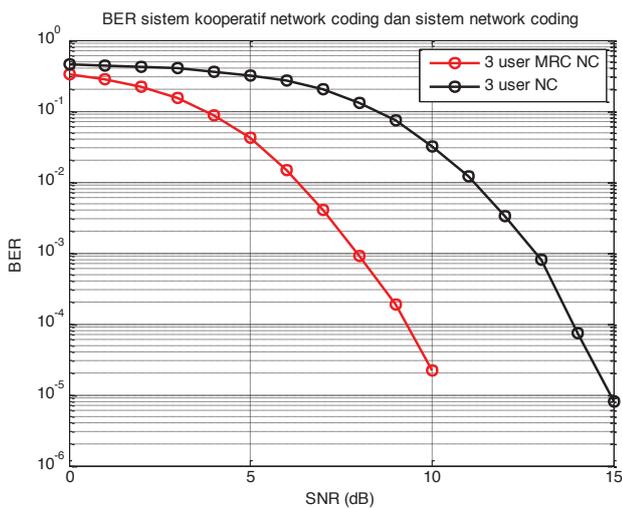
Sedangkan pada penerima sistem komunikasi kooperatif terdapat dua sinyal yang diterima dari *source* ke *destination* dan dari *source* ke *relay*. Sinyal yang terdapat pada penerima akan dilakukan *combining* pada tiap-tiap usernya. Pada penelitian ini menggunakan *combining* MRC, dengan menjumlahkan dua buah sinyal yang diterima oleh *relay* dari *source* dan sinyal yang di terima *destination* dari *source*. Sinyal yang telah *dicombining* akan di lakukan proses demodulasi untuk mengembalikan simbol ke bit.

Pada Gambar 8 ditunjukkan hasil sinyal yang diterima pada *destination*. Pada user 1, *destination* menerima informasi dari user 2 dan user 3. Sedangkan pada user 2, *destination* menerima informasi dari user 1 dan user 3 dan pada user 3, *destination* menerima informasi dari user 1 dan user 2. Setelah melalui proses tersebut dilakukan proses *combining*.

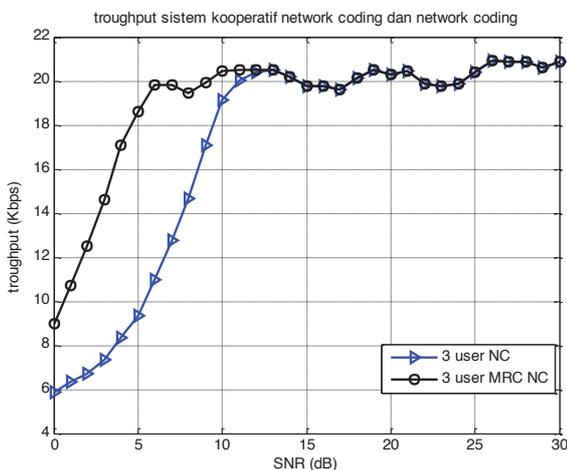


D. Kinerja Sistem Berdasarkan BER

Perbandingan penggabungan sistem komunikasi kooperatif menggunakan *network coding* dan sistem *network coding* dapat dilihat pada Gambar 9. Dari grafik dapat dilihat bahwa sistem komunikasi kooperatif menggunakan *network coding* mempunyai kinerja lebih baik dibandingkan dengan hanya menggunakan sistem *network coding*. Hal ini dikarenakan adanya *relay* yang berfungsi sebagai *forward* yang berarti setelah sampai pada *relay* bit akan dikembalikan seperti pada sisi pengirim sebelum dikirimkan kembali ke *destination*. Pada sistem kooperatif menggunakan *network coding* saat berada pada SNR 10 dB nilai BER mencapai 0. Sedangkan pada sistem *network coding* pada SNR 15 dB nilai BER mencapai 0.



Gambar 9. Perbandingan nilai BER sistem kooperatif network coding dengan sistem network coding



Gambar 10. Perbandingan nilai throughput sistem kooperatif network coding dengan network coding tanpa sistem kooperatif

E. Kinerja Sistem Berdasarkan Throughput

Hasil perhitungan *throughput* pada persamaan (28) mengacu pada nilai BER berdasarkan satu kali transisi. Dapat dilihat pada Gambar 10 perbandingan *throughput* pada sistem komunikasi kooperatif *network coding* dengan sistem komunikasi *network coding*.

Pada sistem kooperatif menggunakan *network coding* kenaikan terjadi pada SNR 0 dB dengan menghasilkan nilai *throughput* 6 kbps dan pada sistem *network coding* kenaikan terjadi pada SNR 0 dB dengan menghasilkan nilai *throughput* 9 kbps. Nilai *throughput* yang didapat pada simulasi melihtakan bahwa *throughput* pada sistem kooperatif menggunakan *network coding* lebih baik dibandingkan dengan sistem *network coding*.

IV. KESIMPULAN (PENUTUP)

Pada penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa menggunakan sistem komunikasi kooperatif menggunakan *network coding* dapat meningkatkan *throughput* hingga 25 %, sehingga dapat berpengaruh pada kecepatan saat melakukan komunikasi ataupun melakukan *download* data. Nilai BER berpengaruh terhadap kenaikan *throughput*, semakin kecil nilai BER maka akan semakin besar nilai *throughput* yang dihasilkan.

REFERENSI

- [1] Nosratinia Aria, Todd E. Hunter dan Ahmadreza Hedayat, "Cooperative communication in wireless networks," IEEE Communications magazine, October 2004, pp. 74-80.
- [2] Chen Hsiao Hwa, Yi Lin Sung, Aldo Morales dan Sedig Agili, "Cooperative communication with network coding," IEEE 16th International symposium, ISCE 1569587517, 2012.
- [3] Chen Yingda, Shalinee Kishore and Jing Li, "Wireless diversity through network coding," National science foundation under career/pecase grant, CCF 03-46945.
- [4] Peter Hong Y-W, Wan-Jen Huang dan C.-C.Jaykuo, "Cooperation communications and networking," Springer science, 2010, pp 74-79
- [5] Liu Xiaoming, Gang wang dan Bo Li, "A physical network coding base amplify and forward cooperation scheme," IEEE ICICS ,2013
- [6] Rappaport Theodore.S,"Wireless communication principles and practice," Second edition, Upper sadley river, pp. 134-140, 2002.
- [7] Proakis, John.G, dan Masoud Salehi,"Digital communication",The mc graw-hill companies, USA, 2008.
- [8] Woldegebreal H Dereje dan Holgel Karl, "Network coding based adaptive decode and forward cooperative transmission in a wireless network: outage analysis," 13th european wireless conference, April 2007.
- [9] Liew Chang Soung, Shengli Zhang and Lu Lu, "Physical layer network coding tutorial," Physical communication 6, pp 4-42 , 2013.
- [10] LV Zheng, Zhijun Yu dan LIU Haitao, "Multiuser cooperative communication based on linear network coding," Jounal of computational information systems 8:2, pp.801-807 , 2012 .
- [11] Yang Hongjuan, Weixiao Meng, dan Li Boand Gang Wang, "Physical layer implementation of network coding in two way relay networks," IEEE ICC ad hoc and sensor networking symposium, 2012.
- [12] Wu Zhanji,Gao Xiang, Yang Fan, Wu Bin,Yunzhou Li dan Zhendong Luo, "A physical layer network coding relay," IEEE 802.11-13/0111r0, December 2012.