

OPTIMISASI LINTAS LAPISAN PADA SISTEM KOMUNIKASI KOOPERATIF DI DALAM GEDUNG

Nyoman Gunantara¹, Farid Baskoro², Arif Saifurrizal³, Gamantyo Hendrantoro⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

¹gunantara@elect-eng.its.ac.id, ²farid@elect-eng.its.ac.id, ³awi_saifurrizal@elect-eng.its.ac.id,
⁴gamantyo@ee.its.ac.id

Abstrak

Komunikasi kooperatif merupakan suatu komunikasi yang bekerja sama dengan *user* lain sebagai *relay* dan membentuk *virtual array* sehingga dapat mengimbangi keunggulan dari sistem diversitas ruang. Dalam makalah ini diajukan komunikasi kooperatif di dalam gedung, dimana digunakan dua *user* sebagai sumber, satu *user* sebagai tujuan, dan enam *user* yang dibangkitkan secara acak sebagai *relay*. Dalam penelitian ini, diteliti tentang optimisasi lintas lapisan (*cross layer*) yaitu pada lapisan fisik (*physical layer*) berupa konsumsi daya total dan lapisan jaringan (*network layer*) berupa *routing* dan *traffic rate* dengan melihat pengaruh dari ada dan tidak adanya kontrol kongesti. Hasil dari penelitian ini adalah adanya pemilihan *relay* terbaik berdasarkan *traffic rate*, konsumsi daya, dan optimisasi gabungan dari keduanya. Disamping itu rerata *traffic rate* sumber 1 lebih kecil dibandingkan sumber 2 sedangkan rerata konsumsi daya total sumber 1 lebih besar dibandingkan sumber 2. Dan varian *traffic rate* dan konsumsi daya total untuk sumber 1 lebih besar dibandingkan sumber 2.

Kata kunci : Komunikasi kooperatif, optimisasi lintas lapisan, kontrol kongesti, *traffic rate*, konsumsi daya, optimisasi gabungan

Abstract

Cooperative communication is communications that cooperate with another user as a relay and form a virtual array so that can balance the benefits of space diversity systems. In this paper proposed cooperative communication in the building, where two users used as the source, one user as a destination, and six users which raised randomly as the relay. This research focus examined cross layer optimization which physical layer (example total power consumption) and network layer (example routing and traffic rate) that influenced by congestion control. Results of examination are choosing the relay on basically of traffic rate, total power consumption, and joint optimization of both. And also, mean of traffic rate for source 1 is smaller than source 2 while mean of total power consumption for source 1 is bigger than source 2. And varian of traffic rate and total power consumption for source 1 is bigger than source 2.

Keywords: Cooperative communication, cross layer optimization, congestion control, traffic rate, power consumption, joint optimization

1. Pendahuluan

Dengan kemajuan teknologi telekomunikasi maka dikembangkan sistem komunikasi kooperatif. Dalam komunikasi kooperatif seperti pada [2], [6], setiap *user* dengan antena tunggal dalam skenario multi *user* bekerja sama dan berkoordinasi membentuk *virtual array* seperti sistem yang menggunakan diversitas ruang untuk mendapatkan kinerja yang lebih baik. Sehingga sistem komunikasi kooperatif tersebut dapat mengimbangi keunggulan dari sistem diversitas ruang.

Berbagai penelitian tentang komunikasi kooperatif telah dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari sistem tersebut. Makalah [5] telah meneliti komunikasi kooperatif pada multiuser dengan alokasi daya yang optimum yang berbeda pada setiap *user*. Di [4], diteliti tentang pengaruh metode *relay* pada komunikasi kooperatif dengan menggunakan tiga *user*. Dalam penelitian ini digunakan 9 *user* dimana 3 *user* ditentukan

posisinya dan 6 *user* yang lain dibangkitkan secara acak.

Makalah [3] menjelaskan komunikasi kooperatif pada jaringan radio multihop dengan mengoptimisasi fungsi lapisan komunikasi. Didapatkan konvergensi dari algoritma dan adanya penurunan konsumsi daya serta *traffic rate* akibat dari sistem. Kelemahan dari makalah ini, tidak memperhitungkan posisi *user* jika berada di dalam gedung. Apabila posisi *user* berada di dalam gedung maka propagasi sinyal akan dipengaruhi oleh kondisi di dalam gedung yaitu lantai dan tembok.

Makalah [1] menjawab kondisi apabila sinyal berada di dalam gedung. Dalam makalah ini dijelaskan karakteristik sinyal yang dipengaruhi oleh adanya lantai dan tembok. Selanjutnya dalam makalah ini, akan menjawab kelemahan dari makalah sebelumnya yaitu komunikasi kooperatif apabila *user* berada di dalam gedung serta menentukan optimisasi sistem pada lapisan fisik dan lapisan jaringan.

Setelah bagian pendahuluan ini, maka akan dibahas tentang model sistem yang terdiri dari propagasi di dalam gedung, konfigurasi sistem, dan gain kanal di dalam gedung. Selanjutnya dilakukan langkah-langkah optimisasi yaitu optimisasi gabungan *traffic rate* dan konsumsi daya dan optimisasi gabungan kontrol kongesti, *traffic rate*, dan konsumsi daya. Dari langkah-langkah optimisasi kemudian memasukkan nilai-nilai parameter dan dilakukan simulasi. Hasil simulasi kemudian dianalisis dan selanjutnya dibuat kesimpulan.

2. Model Sistem

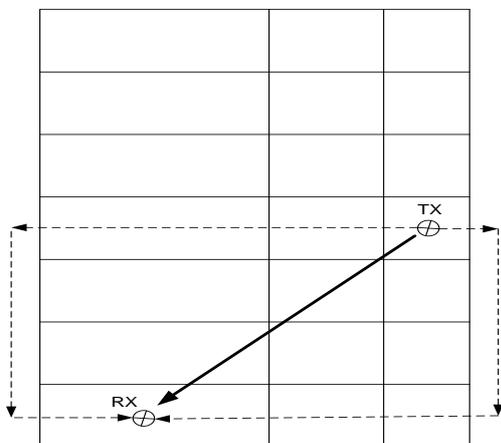
2.1 Propagasi Di Dalam Gedung

Untuk memahami propagasi di dalam gedung maka perlu diketahui karakteristik propagasi antara lantai dengan lantai dalam suatu gedung. Lintasan propagasi diantara lantai dalam suatu gedung harus ditentukan. Menurut makalah [1] ada dua lintasan yang terjadi dalam propagasi di dalam gedung yang dapat dilihat pada Gambar 1. Pertama, lintasan langsung yang melewati dinding dan lantai suatu gedung yang ditunjukkan dengan garis solid dari Tx (pemancar) ke Rx (penerima). Kedua, lintasan difraksi termasuk propagasi luar gedung yang melewati jendela dan difraksi lintasan yang merambat sepanjang permukaan luar gedung sampai menjangkau jendela yang lain untuk kemudian merambat kembali ke lantai yang lain dalam suatu gedung ditunjukkan dengan garis putus-putus dari Tx ke Rx.

Propagasi lintasan langsung yang melewati lantai dan dinding maka kuat medan dari Tx ke Rx adalah sebagai berikut :

$$|E|^2 = \frac{Z_0 P_e}{4\pi d^2} \prod_{m=1}^M T_{lantai(m)}^2 \prod_{n=1}^N T_{dinding(n)}^2 \quad (1)$$

dimana E adalah kuat medan lintasan langsung, Z_0 impedansi gelombang ruang bebas, P_e adalah daya radiasi efektif, d adalah jarak langsung Tx dan Rx, $T_{lantai(m)}$ adalah koefisien transmisi dari lantai sebanyak M , dan $T_{dinding(n)}$ adalah koefisien transmisi dari dinding sebanyak N .



Gambar 1. Propagasi di Dalam Gedung

2.2 Konfigurasi Sistem

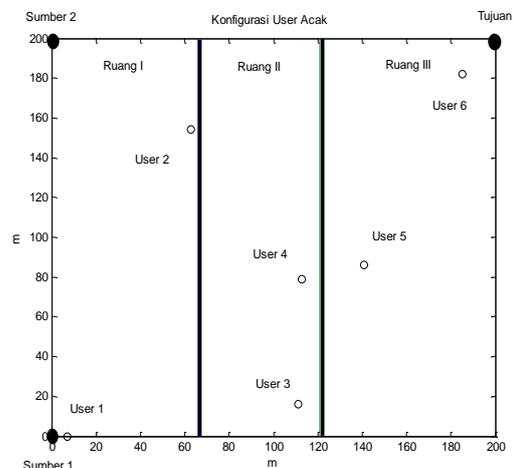
Luas daerah yang digunakan adalah 200m x 200 m dibagi menjadi tiga ruangan oleh dinding pada jarak 67 m dan 133 m. Luas daerah tersebut digunakan oleh 9 buah *user* dimana 2 *user* yang terletak pada titik (0,0) dan (0,200) sebagai sumber 1 dan sumber 2, satu *user* yang terletak pada titik (200,200) sebagai tujuan, dan enam *user* lainnya berada di dalam ruangan yang terbagi tiga ruangan dimana setiap ruang terdiri dari dua *user* yang dibangkitkan secara acak seperti pada Gambar 2. Jaringan multihop tersebut dijelaskan dalam sebuah Graph $G = (V, L)$, dimana V adalah kumpulan *user* dan L adalah kumpulan hubungan. Hubungan dari *user* i ke *user* j ditulis (i, j) . Didefinisikan juga yaitu hubungan yang meninggalkan *user* i ditulis $O(i)$ dan yang menuju *user* i ditulis $I(i)$. Contoh Graph $G = (V, L)$ dalam penelitian ini seperti terlihat pada Gambar 2. Komponennya adalah kumpulan *user* yaitu sumber 1, sumber 2, *user* 1, *user* 2, *user* 3, *user* 4, *user* 5, *user* 6, dan tujuan. Sedangkan hubungan adalah {sumber 1, tujuan}, {sumber 1, *user* 1}, {sumber 1, *user* 2}, {sumber 1, *user* 3}, {sumber 1, *user* 4}, {sumber 1, *user* 5}, {sumber 1, *user* 6}, {*user* 1, tujuan}, {*user* 2, tujuan}, {*user* 3, tujuan}, {*user* 4, tujuan}, {*user* 5, tujuan}, dan {*user* 6, tujuan}. Sedangkan untuk sumber 2 hubungan terbentuk seperti sumber 1.

2.3 Gain Kanal Di Dalam Gedung

Untuk komunikasi kooperatif pada jaringan multihop [3], propagasi lintasan langsung yang melewati dinding [1], dan pengaruh *shadowing* maka gain kanal dalam sistem komunikasi kooperatif di dalam gedung dapat ditulis berikut

$$g(i, j) = k \prod_{n=1}^N T_{dinding}^2 d(i, j)^{-3} 10^{\frac{x}{10}} \quad (2)$$

Dimana $k = 10^6$, T = koefisien transmisi dari dinding sebanyak M dalam dB, $d(i, j)$ adalah jarak dari *user* i ke *user* j dalam meter, dan x adalah *shadowing* dalam dB.



Gambar 2. Topologi Acak Komunikasi Kooperatif di Dalam Gedung

3. Langkah-Langkah Optimisasi

Setelah *gain* kanal di dalam gedung diketahui maka ditentukan langkah-langkah optimisasi. Dalam makalah ini dibagi menjadi dua. Pertama, yaitu optimisasi gabungan *traffic rate* dan konsumsi daya. Dan kedua, optimisasi gabungan kontrol kongesti, *traffic rate*, dan konsumsi daya.

3.1 Optimisasi Gabungan *Traffic Rate* dan Konsumsi Daya

Dari Gambar 1 terlihat bahwa *user* sumber ke *user* tujuan dapat melalui transmisi langsung dan transmisi kooperatif. Untuk transmisi langsung (non kooperatif) maka konsumsi daya optimal adalah

$$P_d^*(i, j)(t) = \left[\frac{\lambda_{(i,j)}}{\ln 2} - \frac{1}{g(i,j)} \right]_{P_{min}(i,j)}^{P_{max}(i,j)} \quad (3)$$

dimana $\lambda_{(i,j)}$ adalah *link price*.

Sedangkan untuk transmisi kooperatif dan melewati *relay* k, maka konsumsi dayanya adalah

$$P_d^*(i, j) = \left[\frac{\lambda_{(i,j)}g(k,j)}{(g(i,k)+g(k,j)-g(i,j)) \ln 2} - \frac{1}{g(i,k)} \right]_{P_{min}(i,j)}^{P_{max}(i,j)} \quad (4)$$

$$P_{r,(i,j)}^*(k, j) = \left[\frac{g(i,k)-g(i,j)}{g(k,j)} P_d^*(i, j) \right]_{P_{min}(k,j)}^{P_{max}(k,j)} \quad (5)$$

Selanjutnya *traffic rate* optimum dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$x^*(i, j) = \left[\frac{\mu_j - \mu_i - \lambda_{(i,j)}}{2\epsilon} \right]^+ \quad (6)$$

dimana μ_i , μ_j adalah nilai *user* and $[x]^+ = \max(0, x)$.

Traffic rate optimum dipengaruhi oleh $\lambda_{(i,j)}$ dan μ_i , didapatkan dari persamaan berikut

$$\lambda_{(i,j)}(t+1) = [\lambda_{(i,j)}(t) - \beta(t)f_{i,j}(\lambda_{(i,j)})]^+ \quad (7)$$

$$\mu_i(t+1) = \mu_i(t) - \beta(t)g_i(\mu_i) \quad (8)$$

dimana $\beta(t) = \max(0.2/\sqrt{t}, 0.001)$ menurut makalah [3], sedangkan $f_{i,j}(\lambda_{(i,j)})$, $g_i(\mu_i)$ ditentukan oleh persamaan berikut

$$f_{i,j}(\lambda_{(i,j)}) = r^*(i, j) - x^*(i, j) \quad (9)$$

$$g_i(\mu_i) = \sum_{j \in \ell(i)} x^*(j, i) - \sum_{j \in \mathcal{O}(i)} x^*(i, j) + S_i \quad (10)$$

Dan kecepatan transmisi $r(i, j)$ untuk transmisi langsung dapat dihitung dengan persamaan

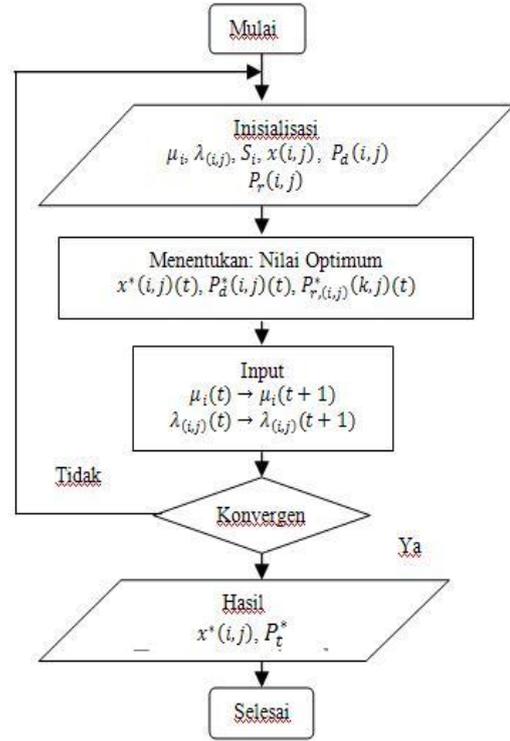
$$r_d = \log_2(1 + g(i, j)P_d(i, j)) \quad (11)$$

Sedangkan untuk transmisi kooperatif dapat dihitung dengan persamaan

$$r_c(i, j) = \frac{\log_2(1 + g(i, j)P_d(i, j) + g(k, j)P_{r,(i,j)}(k, j))}{2} \quad (12)$$

Nilai optimum dari gabungan *traffic rate* dan konsumsi daya ditentukan dengan persamaan berikut.

$$D(i, j) = \min_{P_t} \{P_t^*(i, j) - \lambda_{(i,j)}r^*(i, j)\} \quad (13)$$



Gambar 3. Proses Optimisasi *Traffic Rate* dan Konsumsi Daya

dengan konsumsi daya total P_t^* , untuk transmisi langsung adalah P_d^* pada persamaan 10 dan untuk transmisi kooperatif adalah $P_t^*(i, j) = (P_d^*(i, j) + P_{r,(i,j)}^*(k, j))/2$. Untuk lebih jelasnya, langkah optimisasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.

3.2 Optimisasi Gabungan Kontrol Kongesti, *Traffic Rate*, dan Konsumsi Daya

Dari Gambar 1 terlihat bahwa *user* sumber ke *user* tujuan dapat melalui transmisi langsung dan transmisi kooperatif. Untuk transmisi langsung maka konsumsi daya optimal adalah

$$P_d^*(i, j)(t) = \left[\frac{\lambda_{(i,j)}}{\gamma_2 \ln 2} - \frac{1}{g(i,j)} \right]_{P_{min}(i,j)}^{P_{max}(i,j)} \quad (14)$$

dimana γ_2 adalah parameter kontrol *trade-off*.

Dan untuk transmisi kooperatif yang melewati *user* k, maka konsumsi daya optimal adalah

$$P_d^*(i, j) = \left[\frac{\lambda_{(i,j)}g(k,j)}{\gamma_2(g(i,k)+g(k,j)-g(i,j)) \ln 2} - \frac{1}{g(i,k)} \right]_{P_{min}(i,j)}^{P_{max}(i,j)} \quad (15)$$

$$P_{r,(i,j)}^*(k, j) = \left[\frac{g(i,k)-g(i,j)}{g(k,j)} P_d^*(i, j) \right]_{P_{min}(k,j)}^{P_{max}(k,j)} \quad (16)$$

Selanjutnya *source rate* optimum dan *traffic rate* optimum dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$S_i^* = \left[U_i'^{-1} \left(\frac{\mu_i}{\gamma_1} \right) \right]^+ \quad (17)$$

$$x^*(i, j) = \left[\frac{\mu_i - \mu_j - \lambda_{(i,j)}}{2\epsilon} \right]^+ \quad (18)$$

dimana $U_i'^{-1}$ adalah fungsi invers dari derivatif fungsi utilitas U_i , yang merupakan kontrol kongesti.

Source rate dan *traffic rate* dipengaruhi oleh $\lambda_{(i,j)}$, μ_i yang merupakan nilai link dan nilai *user*. Nilai-nilai tersebut dapat dihitung melalui persamaan

$$\lambda_{(i,j)}(t+1) = [\lambda_{(i,j)}(t) - \beta(t)\phi_{i,j}(\lambda_{(i,j)})]^+ \quad (19)$$

$$\mu_i(t+1) = \mu_i(t) - \beta(t)\psi_i(\mu_i) \quad (20)$$

dimana $\beta(t) = \max(0.2/\sqrt{t}, 0.001)$, sedangkan $\phi_{i,j}(\lambda_{(i,j)})$, $\psi_i(\mu_i)$ ditentukan dari persamaan

$$\phi_{i,j}(\lambda_{(i,j)}) = r^*(i,j) - x^*(i,j) \quad (21)$$

$$\psi_i(\mu_i) = \sum_{j \in 0(i)} x^*(i,j) - \sum_{j \in l(i)} x^*(j,i) - S_i^* \quad (22)$$

Nilai optimum dari gabungan kontrol kongesti, *traffic rate*, dan konsumsi daya ditentukan dengan persamaan berikut.

$$D(i,j) = \max_{P \geq 0} \{ \lambda_{(i,j)} r^*(i,j) - \gamma_2 \sum_{(i,j) \in l} P_t^*(i,j) \} \quad (23)$$

Untuk lebih jelasnya, langkah optimisasi tersebut seperti Gambar 3 dengan penambahan kontrol kongesti.

4. Hasil Simulasi

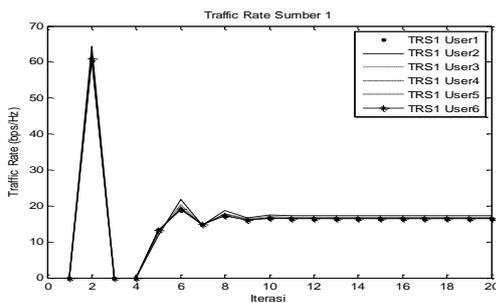
Dalam simulasi ditentukan beberapa nilai parameter diantaranya nilai *user* adalah 1, nilai transmisi adalah 0.5, koefisien dinding 8 dB, standar deviasi dari *shadowing* 3 dB, $\gamma_1 =$ bervariasi, $\gamma_2 = 1$, $k = 10^6$, $\epsilon = 0.05$, $\beta(t) = \max(0.2/\sqrt{t}, 0.001)$, $P_{min}(i,j) = 0$ mW, dan $P_{max}(i,j) = 50$ mW maka hasil yang diperoleh dibagi menjadi 5 sub bahasan. Sub bahasan pertama dan kedua adalah hasil dari langkah pertama. Sedangkan tiga sub bahasan terakhir adalah hasil dari langkah kedua.

4.1. Traffic Rate dan Konsumsi Daya Sumber 1

Dengan sistem model pada Gambar 2, diperoleh *traffic rate* setiap *user* yang dilakukan iterasi sebanyak 80 kali seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Tabel 1 didapat dari Gambar 4.

Tabel 1. Traffic Rate Sumber 1

User	1R1	2R1	3R2	4R2	5R3	6R3
Traffic rate (bps/Hz)	16,34	17,36	16,86	16,64	16,42	16,48
Relay Terbaik						



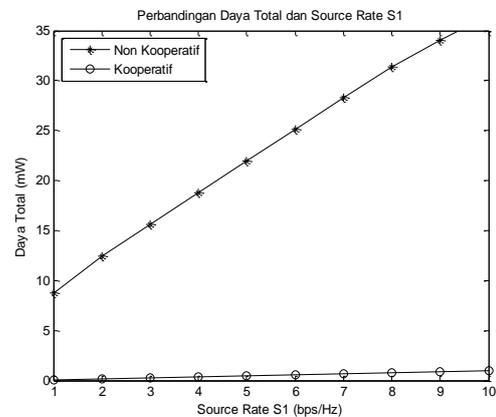
Gambar 4. Traffic Rate Sumber 1

Dari analisis Gambar 4 tersebut terlihat bahwa *traffic rate* dari *user* mencapai konvergen pada rerata iterasi ke-10. Nilai *traffic rate* terbesar diperoleh *user* 2 ruang 1 yaitu 17,36 bps/Hz, sekaligus sebagai *relay* terbaik.

Sedangkan konsumsi daya dari sumber 1 (dengan *source rate* 4 bps/Hz) dapat dilihat pada Tabel 2. Dari analisis terlihat bahwa konsumsi daya terkecil adalah *user* 4 ruang 2, sehingga *user* 4 ruang 2 dipilih sebagai *relay* terbaik. Selanjutnya diplot konsumsi daya total dari sumber 1 dengan kenaikan *source rate* S1. Hasilnya diperoleh seperti pada Gambar 5.

Tabel 2. Konsumsi Daya Sumber 1

User	1R1	2R1	3R2	4R2	5R3	6R3
Konsumsi Daya (mW)	0,41	2,21	0,15	0,02	0,31	0,76
Relay Terbaik						



Gambar 5. Perbandingan Daya Total dan Source Rate Sumber 1

4.2. Traffic Rate Dan Konsumsi Daya Sumber 2

Dengan sistem model pada Gambar 2, diperoleh *traffic rate* setiap *user* yang dilakukan iterasi sebanyak 80 kali seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3. Tabel 3 didapat dari Gambar 6. Dari analisis Gambar 6 tersebut terlihat bahwa *traffic rate* dari *user* mencapai konvergen pada rerata iterasi ke-10. Nilai *traffic rate* terbesar diperoleh *user* 2 ruang 1 yaitu 17,57 bps/Hz, sekaligus sebagai *relay* terbaik.

Sedangkan konsumsi daya dari sumber 2 (dengan *source rate* 4 bps/Hz) dapat dilihat pada Tabel 4. Dari analisis terlihat bahwa konsumsi daya terkecil adalah *user* 1 ruang 1, sehingga *user* 1 ruang 1 dipilih sebagai *relay* terbaik.

Selanjutnya diplot konsumsi daya total dari sumber 1 dengan kenaikan *source rate* S1. Hasilnya diperoleh seperti pada Gambar 7.

Dari analisis Gambar 5 dan 7 terlihat bahwa konsumsi daya transmisi langsung lebih besar dibandingkan transmisi kooperatif untuk kedua sumber. Dan kenaikan *source rate* mengakibatkan kenaikan konsumsi daya, dimana kenaikannya secara linier.

Tabel 3. Traffic Rate Sumber 2

User	1R1	2R1	3R2	4R2	5R3	6R3
Traffic rate (bps/Hz)	16,69	17,57	17,40	17,46	17,39	16,67
Relay Terbaik						

Tabel 4. Konsumsi Daya Sumber 2

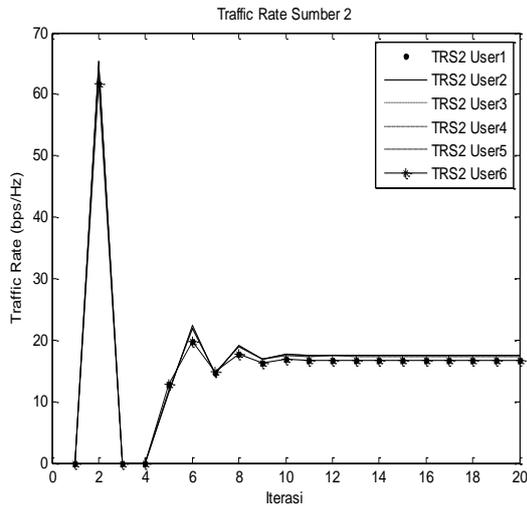
User	1R1	2R1	3R2	4R2	5R3	6R3
Konsumsi Daya (mW)	0,18	0,40	11,63	1,60	0,45	9,21
Relay Terbaik						

Tabel 5. Traffic Rate Sumber 1

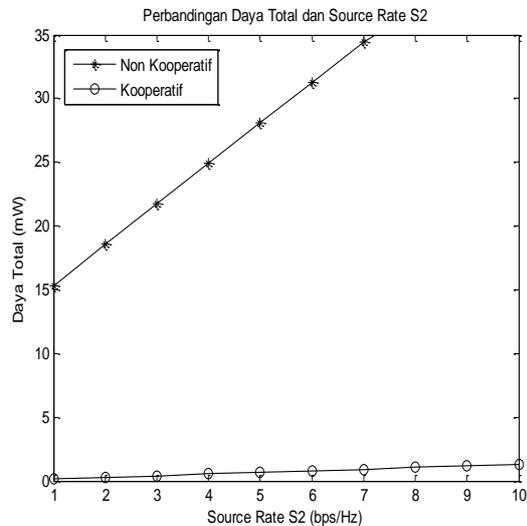
User	1R1	2R1	3R2	4R2	5R3	6R3
Traffic rate (bps/Hz)	2,67	3,98	2,83	3,25	2,69	2,67
Relay Terbaik						

Tabel 6. Konsumsi Daya Sumber 1

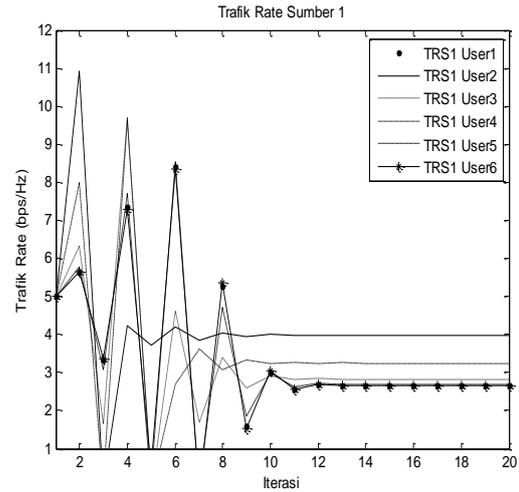
User	1R1	2R1	3R2	4R2	5R3	6R3
Konsumsi Daya (mW)	0,37	10,04	1,26	2,34	0,09	0,45
Relay Terbaik						



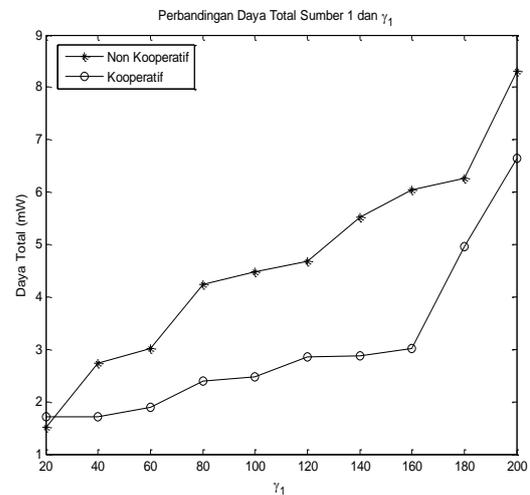
Gambar 6. Traffic Rate Sumber 2



Gambar 7. Perbandingan Daya Total dan Source Rate Sumber 2



Gambar 8. Traffic Rate Sumber 1



Gambar 9. Perbandingan Daya Total Sumber 1 dan γ_1 .

4.3. Kontrol Kongesti, Traffic Rate, dan Konsumsi Daya Sumber 1

Dengan sistem model pada Gambar 2, diperoleh *traffic rate* setiap *user* yang dilakukan iterasi sebanyak 80 kali (Tabel 5). Tabel 5 didapat dari Gambar 8. Gambar 8 menunjukkan *traffic rate* mencapai konvergen rata-rata pada iterasi ke-10 dan *user* yang memiliki *traffic rate* paling besar adalah *user 2* ruang 1. Ini artinya bahwa *user 2* ruang 1 untuk *traffic rate* adalah *relay* yang paling baik. Konsumsi daya dari sumber 1 (dengan $\gamma_1 = 20$) dapat dilihat pada Tabel 6. Dari analisis Tabel 6, konsumsi daya terkecil adalah *user 5* ruang 3, sehingga *user 5* ruang 3 dipilih sebagai *relay* terbaik. Untuk transmisi langsung, dari sumber 1 ke tujuan maka *traffic rate* adalah 2,83 bps/Hz dan konsumsi daya sebesar 0,72 mW.

Sedangkan untuk konsumsi daya total terhadap γ_1 (yang merupakan parameter kontrol dari *trade-off*) diperoleh konsumsi daya total untuk komunikasi non kooperatif dan kooperatif yang dapat dilihat pada Gambar 9. Dari Gambar 9 terlihat bahwa

konsumsi daya untuk komunikasi non kooperatif lebih besar dibandingkan dengan yang kooperatif. Dan kenaikan konsumsi daya berbanding linier terhadap kenaikan kontrol *trade-off*.

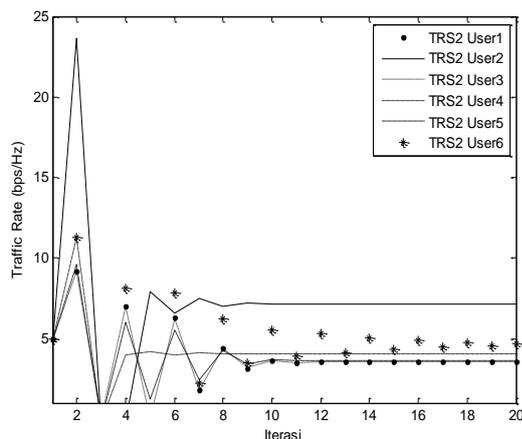
4.4. Kontrol Kongesti, Traffic Rate, dan Konsumsi Daya Sumber 2

Dengan sistem model pada Gambar 2, diperoleh *traffic rate* setiap *user* yang dilakukan iterasi sebanyak 80 kali seperti yang ditunjukkan pada Tabel 7. Tabel 7 didapat dari Gambar 10.

Gambar 10 memperlihatkan titik konvergen dari setiap *user* bervariasi pada kisaran 10 – 20 kali iterasi. *User* yang memiliki *traffic rate* paling besar adalah *user 2* pada ruang 1. Ini artinya *user 2* ruang 1 adalah *user* yang terbaik sebagai *relay*.

Konsumsi daya dari sumber 2 (dengan $\gamma_1 = 20$) dapat dilihat pada Tabel 8. Dari analisis Tabel 8 terlihat bahwa konsumsi daya terkecil adalah *user 2* ruang 1, sehingga *user 2* ruang 1 dipilih sebagai *relay* terbaik. Untuk transmisi langsung, dari sumber 2 ke tujuan maka *traffic rate* adalah 3,70 bps/Hz dan konsumsi daya sebesar 0,70 mW. Dibandingkan dengan transmisi langsung dari sumber 1 dimana jarak ke tujuan lebih besar dari sumber 2 maka dapat dikatakan bahwa jarak semakin jauh maka konsumsi daya menjadi bertambah, sebaliknya *traffic rate* menurun.

Sedangkan untuk konsumsi daya total terhadap γ_1 (yang merupakan parameter kontrol dari *trade-off*) diperoleh konsumsi daya total untuk komunikasi non kooperatif dan kooperatif yang lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 11. Dari Gambar 11 terlihat bahwa konsumsi daya untuk komunikasi non kooperatif lebih besar dibandingkan dengan yang kooperatif. Dan kenaikan konsumsi daya berbanding linier terhadap kenaikan kontrol *trade-off*.



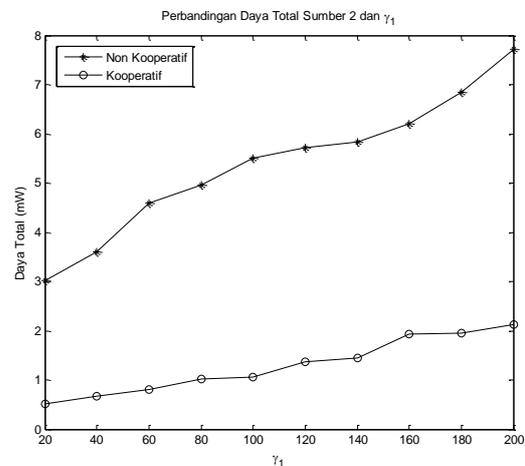
Gambar 10. Traffic Rate Sumber 2

Tabel 7. Traffic Rate Sumber 2

User	1R1	2R1	3R2	4R2	5R3	6R3
Traffic rate (bps/Hz)	3,54	7,16	3,54	4,06	3,65	4,60
Relay Terbaik						

Tabel 8. Konsumsi Daya Sumber 2

User	1R1	2R1	3R2	4R2	5R3	6R3
Konsumsi Daya (mW)	0,36	0,15	0,23	0,28	4,90	0,34
Relay Terbaik						



Gambar 11. Perbandingan Daya Total Sumber 2 dan γ_1

Tabel 9. Optimisasi Gabungan

Sumber 1						
User	1R1	2R1	3R2	4R2	5R3	6R3
Optimisasi Gabungan	18,36	45,48	21,91	31,81	19,35	18,32
Relay Terbaik						
Sumber 2						
User	1R1	2R1	3R2	4R2	5R3	6R3
Optimisasi Gabungan	43,13	199,88	43,08	59,59	41,90	50,76
Relay Terbaik						

Apabila dibandingkan konsumsi daya untuk sumber 1 dan sumber 2 pada kooperatif maka konsumsi daya pada sumber 2 lebih kecil dibandingkan pada sumber 1. Ini disebabkan oleh jarak dari sumber 2 ke tujuan lebih dekat dibandingkan dengan sumber 1.

4.5. Optimisasi Gabungan

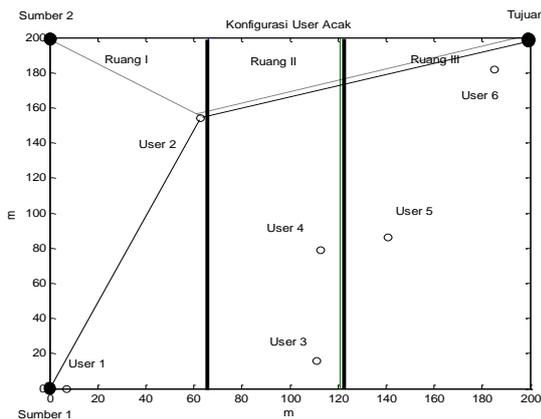
Melihat hasil dari sumber 1 dan 2 baik *traffic rate* maupun konsumsi daya terlihat perbedaan dalam hal pemilihan *user* sebagai *relay* dalam komunikasi kooperatif. Pada sumber 1, untuk *traffic rate* digunakan *user 2* sebagai *relay* dan untuk konsumsi daya digunakan *user 5* sebagai *relay*. Sedangkan pada sumber 2, untuk *traffic rate* digunakan *user 2* sebagai *relay* dan untuk konsumsi daya digunakan *user 2* sebagai *relay*. Untuk mengatasi hal tersebut maka digunakan optimisasi gabungan dari persamaan 23. Hasil optimisasi gabungan untuk kedua sumber tersebut dapat dilihat pada Tabel 9.

Dari analisis Tabel 9 ditentukan nilai optimum dari kedua masalah tadi yaitu trafik rate dan konsumsi daya. Artinya dicari *trade-off* dari kedua masalah tersebut. Hasilnya didapatkan yaitu untuk sumber 1 dan sumber 2 sama-sama memilih *user 2*

pada ruang 1 sebagai *relay* terbaik dalam mengirimkan informasi ke tujuan. Untuk lebih jelasnya dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 12.

Untuk simulasi yang dilakukan sebanyak 100 kali maka didapatkan hasil pemilihan *relay* terbaik seperti terlihat pada Tabel 10. Dari Tabel 10 terlihat bahwa untuk sumber 1 pemilihan *relay* terdapat dua pilihan yaitu ruang 1 sebanyak 50 dan ruang 2 sebanyak 46. Ini disebabkan oleh jarak sumber 1 ke *relay* lebih dekat walaupun melewati dinding (untuk ruang 2) sehingga *gain* kanalnya menjadi lebih besar. Sedangkan untuk sumber 2 pemilihan *relay* hanya pada ruang 1 (sebanyak 95). Ini terlihat jelas bahwa sumber 2 memilih *user* terdekat sebagai *relay* yang mengakibatkan *gain* kanal lebih besar.

Selain pemilihan *relay*, dari hasil simulasi sebanyak 100 kali diperoleh rerata dan standar deviasi untuk *traffic rate* dan daya total pada sumber 1 dan sumber 2. Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 11. Hasil rerata dan standar deviasi tersebut menunjukkan bahwa dalam pemilihan *relay* didapatkan bahwa kenaikan *traffic rate* mengakibatkan kebutuhan daya total menurun dan variasi *traffic rate* dan kebutuhan daya total sumber 2 lebih kecil dibandingkan sumber 1.



Gambar 12. Relay Terbaik dari Optimisasi Gabungan

Tabel 10. Pemilihan Relay Dengan Optimisasi Gabungan (100 kali Simulasi)

Relay	Sumber 1, Ruang :			Jumlah	
	I	II	III		
Sumber 2, Ruang :	I	50 (36)	41	4	95
	II	-	4 (3)	-	4
	III	-	1	-	1
Jumlah		50	46	4	100

Catatan : (.) berarti dari *user* yang sama

Tabel 11. Nilai Rerata dan Standar Deviasi (100 kali Simulasi)

Sumber 1	Rerata	Standar Deviasi
<i>Traffic rate</i> (bps/Hz)	3.1378	0.5712
Daya Total (mW)	4.9997	2.5598
Sumber 2	Rerata	Standar Deviasi
<i>Traffic rate</i> (bps/Hz)	4.2438	0.2051
Daya Total (mW)	1.1660	1.0407

5. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan analisis maka dapat disimpulkan. Pertama, nilai *traffic rate* untuk optimisasi tanpa adanya kontrol kongesti lebih besar dibandingkan dengan optimisasi menggunakan kontrol kongesti. Kedua, konsumsi daya transmisi non kooperatif lebih besar dibandingkan transmisi kooperatif untuk kedua sumber. Ketiga, kenaikan *source rate* dan kontrol *trade-off* mengakibatkan kenaikan konsumsi daya. Keempat, dengan 100 kali simulasi, sumber 1 dalam pemilihan *relay* terdapat dua pilihan yaitu ruang 1 sebanyak 50 dan ruang 2 sebanyak 46. Sedangkan sumber 2 pemilihan *relay* hanya pada ruang 1 (sebanyak 95). Kelima, variasi nilai *traffic rate* dan daya total untuk sumber 2 lebih kecil dibandingkan sumber 1.

Daftar Pustaka

- [1] Honcharenko, W., H. L. Bertoni, J. Dailing, June 1993, *Mechanisms Governing Propagation Between Different Floors in Buildings*, IEEE Trans. On Antennas and Propagation, vol. 41, no. 6.
- [2] Laneman, J., D. Tse, G. Wornell, Dec 2004, *Cooperative Diversity in Wireless Networks: Efficient Protocols and Outage Behavior*, IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 50, no. 12, pp. 3062-3080.
- [3] Le, L., E. Hossain, July 2008, *Cross Layer Optimization Frameworks for Multihop Wireless Network Using Cooperative Diversity*, IEEE Trans. On Wireless Communication, vol. 7, no. 7.
- [4] Nosratinia, A., T. E. Hunter, A. Hedayat, Oct 2004, *Cooperative Communication in Wireless Networks*, IEEE Commun. Magazine, vol. 42, no. 10, pp. 74-80.
- [5] Sadek, A. K., W. Su, K. J. Ray Liu, January 2007, *Multinode Cooperative Communications in Wireless Network*, IEEE Trans. On Signal Processing, vol. 55, no. 1.
- [6] Sendonaris, A. E. and B. Aazhang, Nov 2003, *User Cooperation Diversity-part I: System Description and User Cooperation Diversity part II: Implementation Aspects and Performance Analysis*, IEEE Trans. Commun., vol. 51, no. 11.