

Kinerja Sistem *Hybrid Radio Frequency Energy Harvesting* Pada Sistem Komunikasi V2V

Meyra Chusna Mayarakaca¹⁾, Annysa Aprilya²⁾, Faridatun Nadziroh³⁾, Anang Budikarso⁴⁾

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya

Jl. Raya ITS – Kampus ITS Sukolilo

¹⁾meyrachus@te.student.pens.ac.id

²⁾annysapriya@te.student.pens.ac.id

³⁾faridatun@pens.ac.id

⁴⁾anang_bk@pens.ac.id

Abstract

This article investigates the impact of hybrid Radio Frequency Energy Harvesting (RF-EH) techniques on cooperative Vehicle-to-Vehicle (V2V) communications systems. The energy harvesting (EH) process is carried out in the vehicle or vehicle transmitter as a source using the Time Switching (TS) protocol and in the vehicle or relay vehicle using the Power Splitting (PS) protocol. The transmitter or source vehicle obtains the RF signal for the EH process from the base station (BS), while the relay vehicle obtains the RF signal from the transmitter or source vehicle. System performance is presented with Outage Probability (OP) values for different EH parameters, namely, time switching factor, α and power splitting factor ρ . From the simulation results, all parameters influence the OP value. The higher the value of the RF-EH parameters (α and ρ) results in a lower OP value. For noise power, $N_0 = -100$ dBm, the best OP value for $\alpha = 0.7$ is 0.1214 and the best OP value for $\rho = 0.8$ is 0.1557.

Keywords: Hybrid RF-EH, Time Switching Factor, Power Splitting Factor, Outage Probability

1. Pendahuluan

Komunikasi V2V telah dikembangkan sebagai bagian dari *intelligent transportation system* (ITS) [1][2]. Dalam komunikasi *Vehicle-to-Vehicle* (V2V), kendaraan memungkinkan untuk bertukar informasi tentang kecepatan, lokasi dan tujuan. Studi tentang sistem komunikasi V2V telah dikemukakan pada banyak topik. Pada [3] penulis mengusulkan skema modulasi adaptif untuk sistem komunikasi V2V. Hasil simulasi memverifikasi skema yang diusulkan dengan memberikan kinerja yang lebih baik daripada modulasi non-adaptif. Penugasan penjadwalan pada sistem komunikasi V2V diselidiki di [4]. Dalam [4] penulis mengusulkan *scheduling assignment* (SA) skema transmisi pesan data yang tertanam untuk mendapatkan kinerja yang lebih baik. Dari hasil simulasi dan analisis dapat ditunjukkan bahwa skema yang diusulkan meningkatkan kinerja jaringan secara keseluruhan dengan signifikan. Sebuah studi kasus sistem komunikasi V2V ITS di Malaysia dikemukakan dalam [5], di mana kendala gerak lalu lintas lokal menjadi fokus artikel. Dari hasil simulasi dapat ditunjukkan bahwa kendala gerak lokal mempengaruhi kualitas mobilitas perjalanan.

Pada teknologi *smart home* dan *smart driving* yang biasanya menggunakan perangkat kecil dan berdaya rendah, hemat konsumsi energi adalah salah satu tuntutan utama dan telah menjadi topik hangat untuk penelitian. Teknologi *energy harvesting* (EH) adalah solusi dari masalah konsumsi daya rendah untuk mengisi ulang baterai dan menjaga pengoperasian perangkat nirkabel berdaya rendah. Tinjauan komprehensif teknologi *radio frequency*

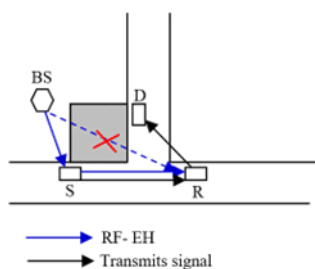
energy harvesting (RF-EH) dijelaskan di [6] termasuk topik sirkuit RF-EH. Penerapan teknik RF-EH dalam komunikasi V2V telah dipelajari. Dalam artikel [7] kinerja sistem relai *full-duplex* (FD) pada sistem komunikasi V2V melalui *double rayleigh fading* diselidiki. Protokol *amplify-and-forward* (AF) dengan variabel dan nilai tetap penguatan relai digunakan untuk meneruskan sinyal dari sumber ke tujuan. Dari hasil numerik ditunjukkan kinerja sistem untuk penguatan relai dengan variabel dan nilai tetap selama penurunan *double rayleigh fading* dibandingkan dengan saluran *rayleigh fading*. Dalam [8] penulis mengevaluasi dampak protokol RF-EH dengan *time switching* (TS) pada sistem komunikasi kooperatif V2V dengan mode FD di mana sumber, relai dan tujuan bergerak di jalan. Sumber dan relay memperoleh EH dari *power beacon* (PB). Dari hasil simulasi dapat ditunjukkan bahwa durasi waktu EH sangat berpengaruh terhadap kinerja sistem. Pada [8] proses RF-EH dilakukan oleh sumber dan relai, dan jika PB mati karena masalah yang tidak diketahui maka proses RF-EH dan sinyal yang dikirim akan berhenti.

Oleh karena itu, kami mengusulkan proses RF-EH dengan protokol hibrid TS-PS (*time switching-power splitting*) dengan hanya kendaraan sebagai sumber komunikasi V2V yang memperoleh EH dari *base station* (BS), sementara kendaraan sebagai relai komunikasi V2V memperoleh EH dari sumber dan bekerja pada mode *half-duplex* (HD).

2. Model Sistem

Model sistem yang diusulkan diilustrasikan pada Gambar 1. terdapat tiga titik yaitu S menyatakan kendaraan sumber, R menyatakan

kendaraan relai dan D menyatakan kendaraan tujuan. S dan R dilengkapi dengan satu antena dan bekerja secara *half-duplex* (HD) Dianggap S dan R memiliki sirkuit yang cocok untuk proses EH dan menyimpan energi hasil proses EH. *Base Station* (BS) memancarkan sinyal RF secara terus – menerus dan hanya S yang mendapatkan hasil EH dari sinyal RF oleh BS. R tidak dapat menerima sinyal RF dari BS karena dianggap ada halangan bangunan antara BS ke R. R mendapatkan hasil EH dari sinyal RF yang ditransmisikan oleh S dan menggunakan daya hasil EH untuk meneruskan sinyal ke D. R menggunakan protokol *amplify-and-forward* (AF) untuk meneruskan sinyal ke D. h_{BS}

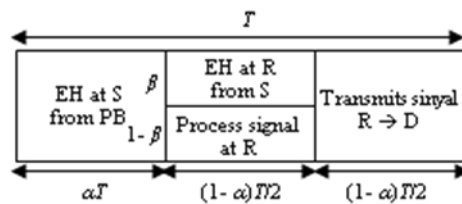


Gambar 1. Sistem Model yang Diusulkan

Dianggap kanal antara BS ke S, S ke R dan R ke D tidak saling berpengaruh atau independen dan model propagasi kanal terdiri dari pelemahan skala luas (*large scale fading*) yang mengandung komponen rugi-rugi kanal dan pelemahan skala kecil (*small scale fading*) berbasis pada pelemahan *Rayleigh*. Masing-masing koefisien kanal dinotasikan dengan h_{BS} , h_{SR} dan h_{RD} yang menyatakan pelemahan *Rayleigh fading* mengikuti distribusi eksponensial.

2.1. Proses Energy Harvesting

Pada protokol *hybrid* TS-PS, S menggunakan protokol TS. Satu blok transmisi T dibagi menjadi tiga slot waktu seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Dengan menggunakan protokol PS, R membagi daya yang diterima menjadi dua bagian, bagian α untuk proses EH dan $(1 - \alpha)$ bagian untuk memproses sinyal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 Selama slot waktu pertama, αT di mana α adalah *time-switching factor*, ($0 \leq \alpha \leq 1$). S mendapatkan hasil EH dari BS dan menggunakan semua daya hasil EH untuk mengirim sinyal ke R selama slot waktu kedua $(1 - \alpha)T$. Juga selama slot waktu kedua R menerima hasil EH dari sinyal yang ditransmisikan oleh S dan menggunakan bagian $(1 - \alpha)$ untuk memproses sinyal. Akhirnya selama slot waktu ketiga dengan menggunakan daya hasil EH di S meneruskan sinyal ke D.



Gambar 2. Protokol Hybrid TS-PS RF-EH

Hasil proses EH di S saat slot waktu pertama dapat dituliskan,

$$E_S = \eta_S P_B H_{BS} \alpha T \quad (2-1)$$

S mentransmisikan sinyal ke R saat slot waktu kedua, maka daya transmisi di S, P_S adalah,

$$P_S = \frac{E_S}{\frac{(1-\alpha)T}{2}} \quad (2-2)$$

$$P_S = \eta_S P_B H_{BS} \left(\frac{\alpha}{(1-\alpha)/2} \right) \quad (2-3)$$

dengan, P_B , ($H_{BS} = |h_{BS}|^2 d_{BS}^{-m}$), m dan η_S masing – masing adalah daya transmit dari BS, gain kanal dari BS – S yang merupakan fungsi dari koefisien kanal BS – S dan jarak B – S, eksponen *pathloss* dan faktor *harvesting efficiency* di S dengan $0 \leq \eta_S \leq 1$. Dan energi hasil EH di R saat slot waktu kedua, $\frac{(1-\alpha)T}{2}$ dapat dituliskan sebagai,

$$E_R = \eta_R \beta P_S H_{SR} \frac{(1-\alpha)T}{2} \quad (2-4)$$

dengan, P_S , ($H_{SR} = |h_{SR}|^2 d_{SR}^{-m}$), η_R masing – masing adalah daya transmit dari S, gain kanal dari S – R yang merupakan fungsi dari koefisien kanal S – R dan jarak S – R dan faktor *harvesting efficiency* di R, dimana $0 \leq \eta_R \leq 1$. Daya transmit di R bisa dituliskan sebagai,

$$P_R = \frac{E_R}{\frac{(1-\alpha)T}{2}} \quad (2-5)$$

$$P_R = \eta_R \beta P_S |h_{SR}|^2 d_{SR}^{-m} \quad (2-6)$$

Berdasarkan (2-3) dan (2-6) dapat diperoleh bahwa sinyal yang diterima di R dan D seperti yang ditunjukkan di bawah halaman selanjutnya pada (2-19) dan (2-20).

2.2. Transmisi sinyal

Sinyal yang diterima di R di slot waktu kedua, $\frac{(1-\alpha)T}{2}$ dapat dituliskan sebagai,

$$y_{SR} = \sqrt{(1 - \beta)P_S d_{SR}^{-m}} h_{SR} x_S + n_R \quad (2-7)$$

dengan, x_S dan n_R adalah transmisi sinyal dari S yang memiliki daya satuan konstan dan noise AWGN yang dipengaruhi oleh antenna pada R, dengan rata – rata nol dan varian sebesar σ^2 $n_R \sim CN(0, \sigma^2)$. Kami menerapkan protokol relai AF di R untuk memproses sinyal informasi sebelum

diteruskan ke D. Kemudian, dengan protokol AF, sinyal diperkuat di R dan diteruskan ke D yang dapat dituliskan sebagai,

$$\mathbf{x}_R = \mathbf{G}\mathbf{y}_{SR} \quad (2-8)$$

dengan G adalah faktor penguatan,

$$\mathbf{G} = \frac{1}{\sqrt{(1-\beta)P_S d_{SR}^{-m} |h_{SR}|^2 + N_0}} \quad (2-9)$$

Sinyal yang diterima di D pada time slot ketiga, $\frac{(1-\alpha)T}{2}$ dapat dituliskan sebagai,

$$\begin{aligned} y_D &= \sqrt{P_R d_{RD}^{-m}} h_{RD} x_R + n_D \\ &= \sqrt{P_R d_{RD}^{-m}} h_{RD} G (\sqrt{(1-\beta)P_S d_{SR}^{-m}} h_{SR} x_S + n_R) + n_D \\ &= \sqrt{P_R d_{RD}^{-m}} h_{RD} G \sqrt{(1-\beta)P_S d_{SR}^{-m}} h_{SR} x_S \\ &\quad + \sqrt{P_R d_{RD}^{-m}} h_{RD} G n_R + n_D \end{aligned} \quad (2-10)$$

dengan, n_D adalah noise AWGN yang dipengaruhi oleh antenna D, dengan rata – rata nol dan varian σ^2 . h_{RD} , d_{RD} dan m masing – masing adalah koefisien kanal dari R – D, jarak R – D dan eksponen *pathloss*.

Berdasarkan (2-10) nilai SNR di D dapat didefinisikan sebagai,

$$SNR \text{ at } D = \gamma_D = \frac{E\{|signal|^2\}}{E\{|noise|^2\}} \quad (2-11)$$

dengan $E [|x_S|^2] = 1$

$$\gamma_D = \frac{P_R d_{RD}^{-m} |h_{RD}|^2 G^2 (1-\beta) P_S d_{SR}^{-m} |h_{SR}|^2}{P_R d_{RD}^{-m} |h_{RD}|^2 G^2 N_0 + N_0} \quad (2-12)$$

dengan, $P_R = \eta_R \beta P_S |h_{SR}|^2 d_{SR}^{-m}$.

$$\gamma_D = \frac{(\eta_R \beta P_S |h_{SR}|^2 d_{SR}^{-m}) d_{RD}^{-m} |h_{RD}|^2 G^2 (1-\beta) P_S d_{SR}^{-m} |h_{SR}|^2}{(\eta_R \beta P_S |h_{SR}|^2 d_{SR}^{-m}) d_{RD}^{-m} |h_{RD}|^2 G^2 N_0 + N_0} \quad (2-13)$$

Atau dapat disederhanakan menjadi,

$$\gamma_D = \frac{\eta_R \beta P_S H_{SR} H_{RD} G^2 (1-\beta) P_S H_{SR}}{\eta_R \beta P_S H_{SR} H_{RD} G^2 N_0 + N_0} \quad (2-14)$$

dengan $H_{SR} = |h_{SR}|^2 d_{SR}^{-m}$ dan $H_{RD} = |h_{RD}|^2 d_{RD}^{-m}$

Maka,

$$\gamma_D = \frac{(\eta_R \beta P_S |h_{SR}|^2 d_{SR}^{-m}) d_{RD}^{-m} |h_{RD}|^2 G^2 (1-\beta) P_S d_{SR}^{-m} |h_{SR}|^2}{(\eta_R \beta P_S |h_{SR}|^2 d_{SR}^{-m}) d_{RD}^{-m} |h_{RD}|^2 G^2 N_0 + N_0} \quad (2-13)$$

Atau dapat disederhanakan menjadi,

$$\gamma_D = \frac{\eta_R \beta P_S H_{SR} H_{RD} G^2 (1-\beta) P_S H_{SR}}{\eta_R \beta P_S H_{SR} H_{RD} G^2 N_0 + N_0} \quad (2-14)$$

dengan $H_{SR} = |h_{SR}|^2 d_{SR}^{-m}$ dan $H_{RD} = |h_{RD}|^2 d_{RD}^{-m}$

2.3. Outage Probability

Outage probability didefinisikan sebagai rasio *signal-to-noise* (SNR) minimum pada penerima atau kendaraan tujuan, D yang kurang dari ambang batas atau *threshold* yang telah ditentukan, $\gamma_{th} = 2^R - 1$, di mana R [bits/sec/Hz] mewakili laju transmisi atau $R \triangleq (1 + \gamma_{th})$. Berdasarkan (2-14) nilai *outage probability* dapat dituliskan sebagai,

$$P_{out} = Pr \left(\frac{\eta_R \beta P_S H_{SR} H_{RD} G^2 (1-\beta) P_S H_{SR}}{\eta_R \beta P_S H_{SR} H_{RD} G^2 N_0 + N_0} < \gamma_{th} \right) \quad (2-15)$$

Jika disederhanakan (2-14) menjadi,

$$\gamma_D = \frac{\eta_R \beta P_S H_{SR} H_{RD} G^2 (1-\beta) P_S H_{SR}}{\eta_R \beta P_S H_{SR} H_{RD} G^2 N_0 + N_0} = \frac{X P_S (1-\beta) P_S H_{SR}}{X P_S N_0 + N_0} \quad (2-16)$$

Dimana, $X = \eta_R \beta H_{SR} H_{RD} G^2$

P_{out} juga dapat dituliskan seperti,

$$\begin{aligned} P_{out} &= Pr \left(\frac{X P_S (1-\beta) P_S H_{SR}}{X P_S N_0 + N_0} < \gamma_{th} \right) \\ &= Pr \left(\frac{X (1-\beta) P_S H_{SR}}{X N_0 + \frac{N_0}{P_S}} < \gamma_{th} \right) \end{aligned} \quad (2-17)$$

$$P_{out} = \int_0^{\gamma_{th}} \frac{1}{\gamma_D} e^{-\frac{\gamma}{\gamma_D}} d\gamma$$

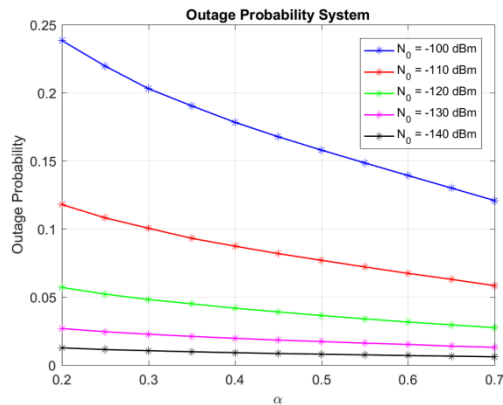
$$P_{out} = \int_0^{\gamma_{th}} \frac{1}{\left(\frac{X (1-\beta) P_S H_{SR}}{X N_0 + \frac{N_0}{P_S}} \right)} e^{-\left(\frac{\gamma}{X N_0 + \frac{N_0}{P_S}} \right)} d\gamma \quad (2-18)$$

Dari (2-16) terlihat bahwa beberapa nilai variabel seperti α dan β adalah faktor *energy harvesting*.

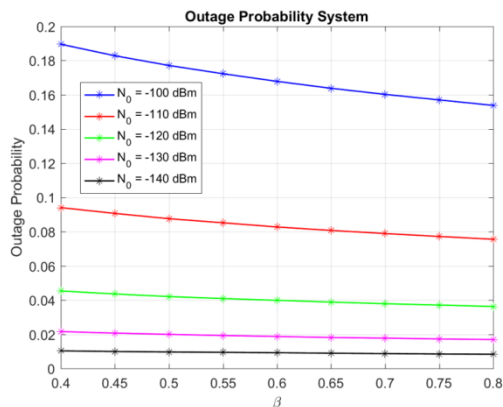
3. Hasil Simulasi Analisa

Pada bagian ini, kami mengevaluasi dampak faktor EH (*time switching*, α dan *power splitting*, β) terhadap nilai *Outage Probability* (OP). Untuk faktor *harvesting efficiency* perangkat S dan R $\eta_S = \eta_R = 0,75$, eksponen *pathloss*, $m = 2,7$ (untuk lingkungan perkotaan [9]), jarak S – R $d_{SR} = 15$, faktor *power splitting*, $\beta = 0,5$ dan R = 1 bit/s/Hz,

nilai daya pancar BS, P_{BS} adalah 43 dBm. Pengaruh nilai faktor *time switching*, α dari protokol TS pada OP ditunjukkan pada Gambar 3.



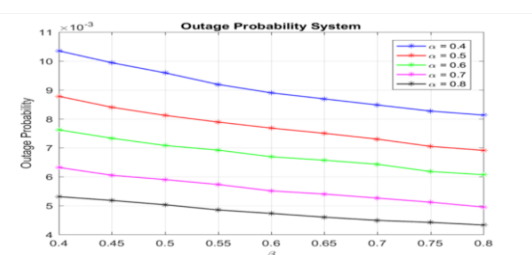
Gambar 3. Outage Probability Dibandingkan dengan α Untuk Berbeda N_0 .



Gambar 4. Outage Probability Dibandingkan dengan β Untuk Berbeda N_0 .

Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai β yang lebih tinggi menghasilkan nilai OP yang lebih rendah pada saat noise -100 dBm, dengan $\beta = 0,8$ nilai OP sebesar 0,1557, $\beta = 0,7$ nilai OP sebesar 0,1625, $\beta = 0,6$ nilai OP sebesar 0,1706, $\beta = 0,5$ nilai OP sebesar 0,1797, $\beta = 0,4$ nilai OP sebesar 0,1916. Sedangkan untuk noise dibawah -100 dBm, dampak β terhadap OP kecil. Dari Gambar 3 dan 4, parameter protokol TS dan PS memberikan pengaruh yang kecil terhadap OP pada saat noise di bawah -100 dBm.

Selanjutnya, kami menyelidiki dampak faktor EH (α dan β) sekaligus terhadap nilai OP dengan N_0 adalah -174 dBm dan hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Outage Probability Dibandingkan dengan β Untuk Berbeda α .

Gambar 5 menunjukkan bahwa nilai β yang tinggi = 0,8 dan α yang tinggi = 0,8 menghasilkan nilai OP yang rendah sebesar 0,00434.

4. Kesimpulan

Dari hasil simulasi dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi nilai parameter RF-EH (α dan β) menghasilkan nilai *outage probability* (OP) yang semakin rendah. Nilai daya noise (N_0) juga mempengaruhi nilai OP, perubahan nilai OP lebih tampak bila nilai N_0 di atas -110 dBm. Untuk $N_0 = -100$ dBm, diperoleh nilai OP terbaik untuk $\alpha = 0,7$ sebesar 0,1214 dan diperoleh nilai OP terbaik untuk $\beta = 0,8$ sebesar 0,1557. Nilai OP terendah diperoleh untuk nilai α dan β paling besar.

Daftar Pustaka

- [1] Harding, John et al. "Vehicle-to-Vehicle Communications: Readiness of V2V Technology for Application." (2014).
- [2] Matolak, David W. "V2V Communication Channels: State of Knowledge, New Results, and What's Next." Nets4Cars/Nets4Trains (2013).
- [3] A. Novfitri, T. Suryani and Suwadi, "Performance Analysis of Vehicle-to-Vehicle Communication with Adaptive Modulation," 2018 Electrical Power, Electronics, Communications, Controls and Informatics Seminar (EECCIS), Batu, Indonesia, 2018, pp. 187-191, doi: 10.1109/EECCIS.2018.8692895.
- [4] D. M. Mughal, J. S. Kim, H. Lee and M. Y. Chung, "Performance Analysis of V2V Communications: A Novel Scheduling Assignment and Data Transmission Scheme," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 68, no. 7, pp. 7045-7056, July 2019, doi: 10.1109/TVT.2019.2917606.
- [5] A. Afdhal and A. R. M. Shariff, "Traffic Mobility Analysis of ITS V2V Cooperative Awareness Communication Based on Local Traffic Motion Constraints," 2019 IEEE International Conference on Cybernetics and Computational Intelligence (CyberneticsCom), Banda Aceh, Indonesia, 2019, pp. 120-125, doi: 10.1109/CYBERNETICSCOM.2019.8875633.
- [6] Ibrahim HH, Singh MJ, Al-Bawri SS, Ibrahim SK, Islam MT, Alzamil A, Islam MS. Radio Frequency Energy Harvesting Technologies: A Comprehensive Review on Designing, Methodologies, and Potential Applications. Sensors (Basel). 2022 May 30;22(11):4144. doi: 10.3390/s22114144. PMID: 35684763; PMCID: PMC9185291.
- [7] Nguyen, Ba & Hoang, Tran & Dũng, Lê. (2019). Performance analysis of vehicle-to-vehicle communication with full-duplex amplify-and-forward relay over double-Rayleigh fading channels. Vehicular Communications, vol. 19, pp. 100166, doi: 10.1016/j.vehcom.2019.100166.
- [8] Nguyen, B.C., Hoang, T.M., Tran, X.N. et al. Evaluating the Performance of Full-Duplex Energy Harvesting Vehicle-to-Vehicle Communication System over Double Rayleigh Fading Channels. Mobile Netw Appl 26, 1777–1787 (2021). https://doi.org/10.1007/s11036-021-01756-y.
- [9] Nasir, A.A., Zhou, X., Durrani, S., & Kennedy, R.A. (2012). Relaying Protocols for Wireless Energy Harvesting and Information Processing. IEEE Transactions on Wireless Communications, vol.12, pp. 3622-3636.