



Harvesting RF Ambient Energy dari End Device LoRa (Long Range Access)

Mery Diana¹, Refdinal Nazir², Arief Rufiyanto³

^{1,3}Pusat Teknologi Elektronika, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Serpong, 15314, Indonesia

² Program Magister Teknik Elektro Universitas Andalas, Padang 25163, Indonesia

Email korespondensi : merydiana1004@gmail.com

Dikirim 01 Agustus 2017, Direvisi 12 September 2017, Diterima 27 Oktober 2017

Abstrak – RF *Energy Harvesting* adalah sebuah teknologi memanen *ambient* energi dari peralatan yang *wearable*. Salah satu peralatan *wearable* yang dapat bertindak sebagai sumber adalah *end device Long Range Access (LoRa)*. LoRa adalah bagian dari Low Power Area Network (LPWAN) yang beroperasi pada *unlicensed frequency (ISM)*. Sebagai sebuah teknologi nirkabel, *end device LoRa* akan ditempatkan pada *remote area* yang sulit untuk diakses. *End device LoRa* bertindak sebagai *transceiver* yang mengirimkan data dan juga menerima data dari *gateway*. Sebagai sebuah *transceiver*, *end device LoRa* membutuhkan ketersediaan energi. Pada *remote area*, RF *ambient energy* dari *end device LoRa* dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi RF yang dapat dipanen dan disimpan. Paper ini mendiskusikan tentang bagaimana memanen energi *ambient* RF yang dipancarkan oleh *end device LoRa* menggunakan antena mikrostrip sebagai penangkap energi dan menambahkan sebuah rangkaian *voltage multiplier* sebagai penyearah sekaligus pengali tegangan. Berdasarkan hasil uji yang telah dilakukan, energi yang dipanen dari satu *end device* dan tersimpan sementara di kapasitor adalah sebesar 163 pJ dengan jarak 11 cm dari sumber. Energi yang dipanen ini dapat disimpan pada baterai atau *capasitor bank* untuk digunakan di masa mendatang.

Kata kunci – *RF energy harvesting, end device LoRa*

Abstract - RF Energy Harvesting is a technology that harvest RF ambient energy from the wearable things. One of wearable thing that can act as a source is end device Long Range Access (LoRa). LoRa is part of Low Power Wide Area Network (LPWAN) which operate in unlicensed frequency (ISM). As a technology of wireless network, end devices of LoRa will be taken in remote area that hardly to access. End device LoRa acts as a transceiver that transmits and receives data from the gateway. As a transceiver, the LoRa end device requires energy availability. This journal discusses how to harvest the RF ambient energy emitted by the LoRa end device using the microstrip antenna as the receiver and the voltage multiplier as both a rectifier and a voltage multiplier. The energy harvested from one end device and stored temporarily in the capacitor is 163pJ with a distance 11 cm from the source. This harvested energy can be stored on battery or capasitor bank to be used in future.

Keyword - RF energy harvesting, end device LoRa

I. PENDAHULUAN

Teknologi dalam memperoleh dan memanfaatkan sumber energi yang ada atau terbuang untuk menjadi energi yang dapat dipakai dalam keseharian terus berkembang. Salah satu teknologi tersebut adalah *energy harvesting* atau disebut juga pemanenan

energi. *Energy harvesting* memanfaatkan energi *ambient* pada peralatan-peralatan yang dapat dipakai manusia dalam keseharian. Peralatan-peralatan tersebut adalah peralatan komputasi kecil berbasis sensor yang melekat pada diri manusia untuk kebutuhan tertentu seperti melacak secara berkala,

menyimpan, dan parameter-parameter fisik dari proses, kegiatan, dan kejadian pada manusia [1].

Penelitian [2] memaparkan beberapa sumber yang dapat dijadikan sebagai sumber *energy harvesting*. Salah satunya adalah *ambient RF energy* atau energi dari radio frekuensi seperti radio AM/FM, *microwave*, dan GSM [3]. Walaupun tersedia sumber energi RF yang potensial, energi dari gelombang EM (elektromagnetik) lebih bernilai kecil dikarenakan energi tersebut mengalami penurunan sesuai dengan sinyal yang menyebar lebih jauh dari sumber. Sehingga dalam *RF energy harvesting* sangat efisien bila pemanen energi harus berada dekat ke sumber [4].

LoRa atau *Long Range Access* adalah salah satu teknologi komunikasi nirkabel yang saat ini banyak digunakan dalam aplikasi *wireless sensor network*. Sebagai salah satu teknologi dari LPWAN (*Low Power Wide Access Network*) LoRa beroperasi pada pita frekuensi tidak berlisensi (2.4 GHz, 868/915 MHz, 433 MHz, dan 169 MHz) [5]. Operasional LoRa terdiri atas tiga komponen utama yaitu LoRa *end devices* yang terhubung ke LoRa radio *interface* ataupun ke beberapa LoRa *gateway*, LoRa *gateway* yang merupakan *NetServer*, pusat dari arsitektur jaringan. *NetServer* ini berfungsi sebagai server jaringan yang mengontrol semua jaringan LoRa (*radio resource management, admission control, dan security*).

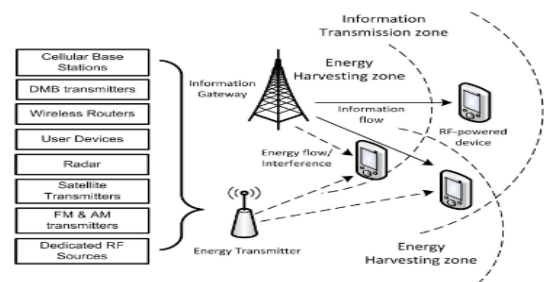
Sebagai salah satu teknologi komunikasi nirkabel, LoRa dapat dimanfaatkan sebagai *sensor monitoring* seperti *object tracking*. LoRa *End-device* diharapkan mengirimkan data dari objek yang diamati secara terus menerus. Dalam operasionalnya, *end-device* dari LoRa akan menghasilkan energi *RF ambient* yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber *RF Energy harvesting*. Berdasarkan latar belakang di atas, maka dalam penelitian ini dibangun sebuah prototipe *RF energy harvesting* dengan sumber energi *RF ambient* yang berasal *end-device* LoRa. Sebuah antena mikrostrip digunakan sebagai penerima dari sinyal RF yang ditransmisikan oleh *end-device* LoRa dan dihubungkan ke rangkaian *charge pump* untuk menyearahkan sekaligus menaikkan keluaran tegangan yang akan disimpan. Pengambilan data untuk uji coba dilakukan di dalam EMC (*electromagnetic compatibility*) *chamber* agar sumber sinyal RF yang diharapkan hanya berasal dari *end-device* LoRa. Diharapkan dengan adanya *RF energy harvesting* pada *end device* ini dapat membantu menyediakan alternatif sumber energi ketika tidak terdapat sumber energi lainnya.

II. METODE PENELITIAN

A. RF Energy Harvesting

Energy harvesting adalah salah satu teknologi untuk memanen energi yang berasal dari sumber di sekitar peralatan yang *wearable*. *Energy harvesting* disebut juga sebagai proses ekstraksi energi yang bersumber dari lingkungan sekitar dan mengubahnya menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan. Beberapa sumber energi yang terdapat di lingkungan seperti cahaya matahari, energi mekanis, energi termal, dan energi dari RF [6].

RF Energy harvesting merupakan teknologi untuk mendapatkan sumber energi dari energi RF yang berada di lingkungan. Berdasarkan [3] dengan sumber energi *ambient* RF yang memiliki kerapatan daya kurang lebih sebesar $0.0002 \mu\text{W}/\text{cm}^3$ sampai $1 \mu\text{W}/\text{cm}^3$, energi yang dapat dipanen sebesar 3 Volt sampai 4 Volt secara kontinyu. Energi *ambient* RF bernilai lebih kecil akan tetapi jumlah energi yang lebih besar dapat diperoleh dengan menggunakan antena yang memiliki *gain* tinggi. Teknologi ini akan sangat berguna dalam pengisian baterai atau menyuplai daya perangkat elektronik secara nirkabel dimana penggantian baterai sulit dilakukan dalam penggunaan jaringan nirkabel. Sehingga teknologi ini sangat memudahkan dalam menyediakan energi untuk jaringan nirkabel yang dibangun pada area yang sulit untuk dijangkau.



Gambar 1. Arsitektur *RF Energy Harvesting* [2]

Gambar 1 di atas memperlihatkan bagaimana arsitektur dari *RF Energy harvesting*. Secara garis besar terdapat tiga komponen utama dari *RF Energy harvesting* yaitu *gateway* informasi, sumber energi RF, dan perangkat/*node* jaringan. Untuk sumber RF bisa berasal dari energi RF pada pemancar ataupun *ambient RF* lainnya. Area-area yang dapat dilakukan panen energi diantaranya pada area transmisi informasi dari *gateway*. Besarnya energi RF yang dapat diterima oleh *RF energy harvester* dapat dihitung menggunakan persamaan Friss sebagai berikut [7]:

$$P_R = P_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi)^2 L} \quad (1)$$

dan besarnya rugi-rugi lintasan pada *free space* dapat dihitung dengan persamaan (2) [8] [9] :

$$L_p = \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 \quad (2)$$

dimana R adalah jarak antara antenna pengirim dan penerima. Energi yang diterima berbanding lurus dengan besarnya energi yang dikirimkan. Dari persamaan (1) dan (2) terlihat bahwa jarak antara penerima *RF energy harvesting* dengan sumber transmisi sangat mempengaruhi besar energi yang diterima.

B. LoRa

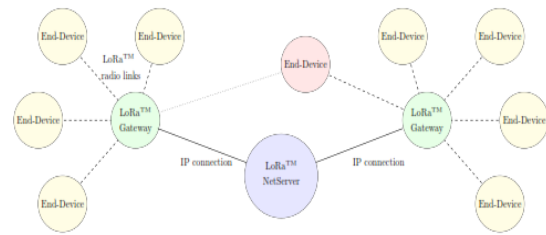
Low-Power Wide-Area Network (LPWAN) merupakan teknologi *transceiver* yang memungkinkan komunikasi daya yang efisien pada jarak yang sangat panjang. Salah contoh dari teknologi LPWAN adalah LoRa [10]. LoRa adalah lapisan fisik atau modulasi nirkabel digunakan untuk membuat *link* komunikasi jarak jauh [11]. Sebagian besar LPWAN beroperasi di pita frekuensi ISM yang tidak berlisensi seperti pada frekuensi 2,4 GHz, 868/915 MHz, 433 MHz, dan 169 MHz, dan bergantung pada daerah operasional perangkat. *Emitter radio* yang beroperasi di pita frekuensi ini sering disebut sebagai *Short Range Devices*. Solusi LPWAN merupakan salah satu contoh *Short Range Devices* dengan rentang cakupan seperti selular, dengan jangkauan 10 km - 15 km untuk daerah pedesaan dan 2 km - 5 km untuk daerah perkotaan. Hal ini dimungkinkan karena desain lapisan fisik baru ditujukan untuk sensitivitas penerima yang sangat tinggi [5].

LoRa memiliki topologi jaringan *star of star* [12]. Secara garis besar berikut komponen utama dari LoRa

- LoRa *end devices* sebagai sensor/aktuator yang terhubung melalui antarmuka radio LoRa ke satu atau beberapa LoRa *Gateways*
- LoRa *Gateways* sebagai penghubung *end devices* ke LoRa *NetServer* yang merupakan elemen pusat dari arsitektur jaringan LoRa.
- LoRa *NetServer* yang berfungsi sebagai *server* jaringan yang melakukan kontrol semua jaringan (*radio resource management, admission control, security, dan lain-lain*)

Seperti yang terlihat pada Gambar 2, jaringan LoRa memiliki topologi *star of star*. Setiap *end device* terhubung ke satu atau ke beberapa *gateway*. Antara *end-device* dengan *gateway* berkomunikasi melalui RF dengan pita frekuensi ISM. Masing-masing *gateway* terhubung dengan LoRa *Netserver*. Semua *gateway* dari LoRa dapat mengirimkan data dari *end device* ke *Netserver* dengan menambahkan

beberapa informasi yang berhubungan dengan kualitas dari penerimaan [13].

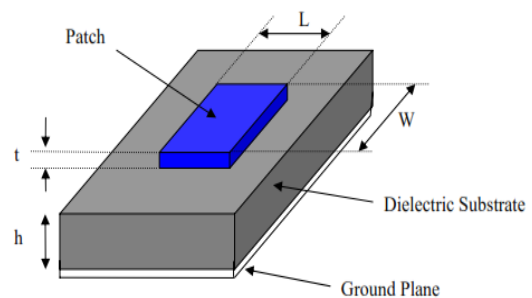


Gambar 2. Arsitektur LoRa [13]

C. Antena Mikrostrip (Microstrips Antenna)

Antena merupakan sebuah bagian dari sebuah sistem pengiriman dan penerimaan yang didesain untuk memancarkan atau menerima gelombang elektromagnetik [14]. Sebuah antena bertujuan untuk transmisi dan menerima data dari jangkauan frekuensi yang berbeda-beda [15]. Salah satu bentuk antena yang banyak dipakai dalam aplikasi nirkabel adalah antena mikrostrip. Antena mikrostrip dapat didefinisikan sebagai salah satu jenis antena yang mempunyai bentuk seperti *strip*/potongan yang mempunyai ukuran sangat tipis dan kecil. Dalam paper ini digunakan antena mikrostrip berbentuk persegi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.

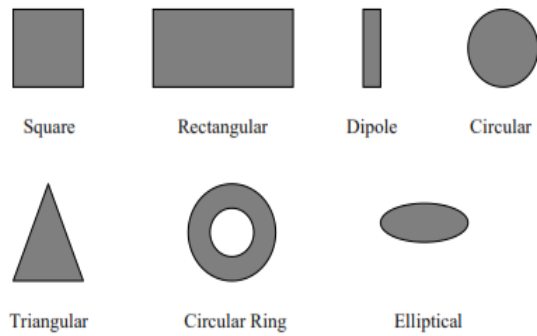
Antena mikrostrip terdiri atas 3 komponen utama yaitu: *ground plane*, substrat, dan elemen peradiasi (*patch*) [16]. Bagian radiasi pada salah satu sisi substrasi dielektrik yang memiliki *ground plane* pada sisi lain seperti Gambar 3.



Gambar 3. Struktur dari Sebuah Antena Mikrostrip [17]

Untuk menyederhanakan analisis dan prediksi kinerja, *microstrip patch* umumnya berbentuk persegi, segitiga, dan bentuk umum lainnya seperti terlihat pada Gambar 4. Ketebalan dari patch dipilih agar sesuai dengan persamaan $t \ll \lambda$. Panjang dari *patch* dapat dihitung dengan perhitungan sederhana dari [18].

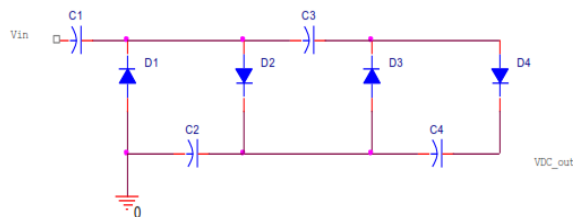
$$L \approx 0.49 \lambda_d = \frac{0.49 \lambda}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (3)$$



Gambar 4. Bentuk Umum Patch Antena Mikrostrip [17]

D. Charge Pump

Gelombang Frekuensi Radio adalah gelombang elektromagnetik yang berbentuk sinyal AC, sehingga untuk mendapatkan keluaran sinyal DC dari RF yang ditangkap dibutuhkan rangkaian penyearah. *Charge pump* merupakan salah satu jenis penyearah yang digunakan dalam *energy harvesting* [19]. *Charge pump* adalah rangkaian elektronik yang ketika diberikan masukan sinyal AC akan memberikan keluaran tegangan DC lebih besar dibanding sinyal masukan. Sehingga *charge pump* dapat dikatakan sebagai konverter AC ke DC (*rectifier*) yang sekaligus memperbesar nilai tegangan DC-nya (*amplifier*) [9]. Salah satu contoh rangkaian sederhana dari charge pump adalah *voltage multiplier*. Skema rangkaian *voltage multiplier* dengan 4 tingkat ditunjukkan oleh Gambar 5.



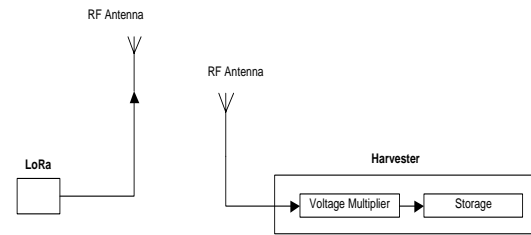
Gambar 5. Voltage Multiplier [19]

Dengan kondisi ideal dimana tegangan jatuh pada masing-masing dioda (D) adalah 0, maka tegangan keluaran dapat dihitung seperti ditunjukkan pada persamaan (4) [19]

$$V_{DC_out} = N * V_{in} \quad (4)$$

RF *energy harvesting* pada *end-device* LoRa terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu sumber *energy harvesting* yang berasal dari sinyal RF yang dipancarkan oleh antenna pada *end-device* LoRa dan sumber RF di udara, antenna, rangkaian *voltage multiplier*, pembagi tegangan, mikrokontroler arduino, rangkaian *boost converter*, dan media penyimpan atau baterai. Pada Gambar 6 ditunjukkan perancangan RF *energy harvesting* pada *end-device* LoRa. *End-device* LoRa yang digunakan dalam uji

coba adalah satu perangkat dengan frekuensi 915 MHz.



Gambar 6. RF Energy Harvesting Pada End Device Lora

Antena yang terdapat pada rangkaian RF *energy harvesting* akan menyalurkan daya yang diterima. Selanjutnya tegangan AC yang diterima akan disearahkan dan dinaikkan oleh *voltage multiplier*. Tegangan DC sebagai keluaran dari *voltage multiplier* akan disimpan. Pengujian hasil perancangan dilakukan dalam ruang EMC atau EMC *chamber* agar sinyal RF yang dipanen benar-benar berasal dari *end-device* LoRa, tidak ada interferensi oleh sinyal RF lain.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

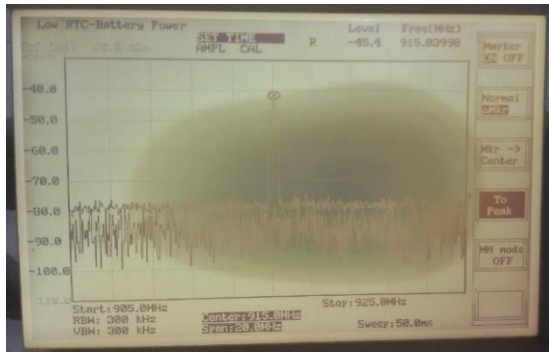
A. End-Device LoRa

Sebelum melakukan RF *energy harvesting end-device* LoRa terlebih dahulu dilakukan pengujian untuk melihat seberapa besar daya yang ditransmisikan *end device* LoRa pada jarak kurang lebih 1 m di dalam ruang EMC. Dengan menggunakan antenna aktif terarah (*directional*), penerimaan daya terukur sebesar -45.4 dBm atau 1uW seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

End-device LoRa yang digunakan dalam pengujian ini merupakan keluaran dari Dragino yang telah terhubung dengan *shield* Arduino Uno sebagai prosesor data. Berikut data-data spesifikasi teknis dari *end-device* LoRa yang digunakan,

- 68 dB *maximum link budget*.
- +20 dBm - 100 mW *constant RF output*
- +14 dBm *high efficiency PA*.
- *Programmable bit rate* sampai 300 kbps.
- *High sensitivity*: down sampai -148 dBm.
- *Bullet-proof front end*: IIP3 = -12.5 dBm.
- *Excellent blocking immunity*.
- *Low RX current* sebesar 10.3 mA, 200 nA *register retention*.
- Terintegrasi penuh dengan *synthesizer* yang beresolusi 61 Hz.
- Modulasi FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRaTM, dan OOK.
- *Built-in bit synchronizer* untuk *clock recovery*.
- *Preamble detection*.
- 127 dB *Dynamic Range RSSI*.

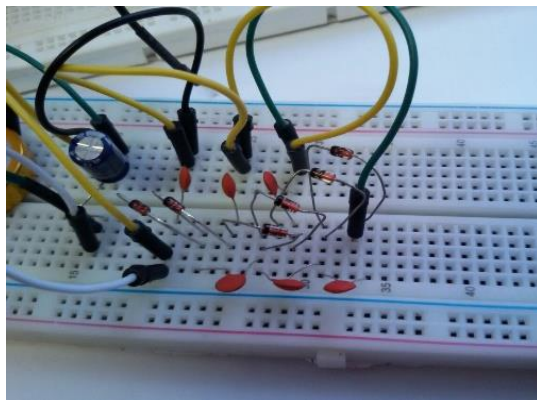
- Automatic RF Sense dan CAD dengan AFC.
- Packet engine sampai 256 bit dengan CRC.
- Built-in temperature senso dan low battery indicator.



Gambar 7. Level daya yang diterima dari end device LoRa

B. Charge Pump

Rangkaian charge pump menggunakan jenis voltage multiplier Dickson 3 tingkat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8 [9].



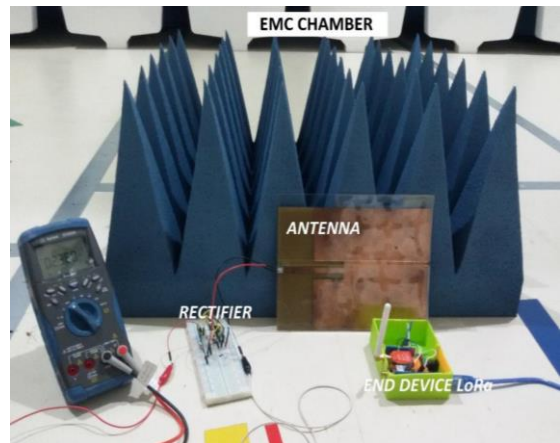
Gambar 8. Charge Pump

Untuk menyearahkan arus digunakan Dioda IN4148 yang memiliki fitur high speed switching dan kapasitor sebesar 100 nF serta untuk penyimpanan sementara digunakan kapasitor sebesar 16 Volt 100 uF.

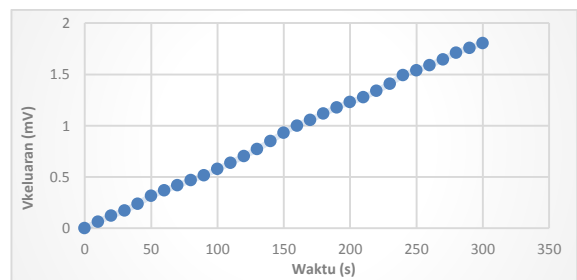
C. RF Energy Harvesting Pada End device LoRa

Setelah semua komponen sistem diuji, maka dilakukan pengintegrasian untuk melakukan proses pemanenan energi. Pada Gambar 9 ditunjukkan pengujian yang dilakukan dalam ruang EMC.

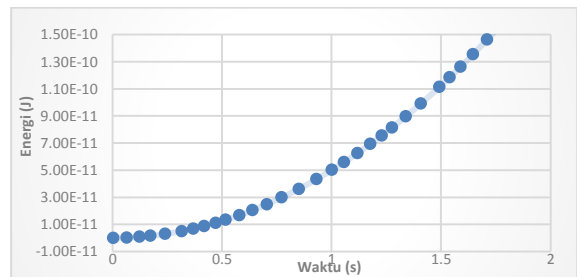
Pengukuran dilakukan dengan jarak yaitu 11 cm dan 50 cm dari end device LoRa. Grafik pada Gambar 10 dan 11 merupakan hasil pengukuran yang telah dilakukan selama 300 detik.



Gambar 9. Pengujian di Ruang EMC

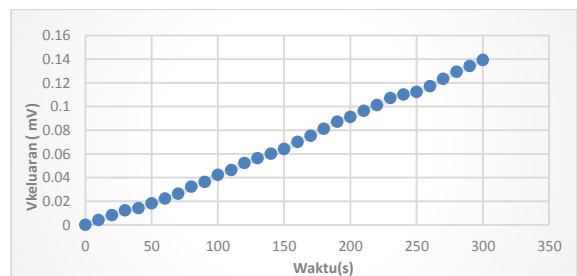


10 (a). Grafik Tegangan

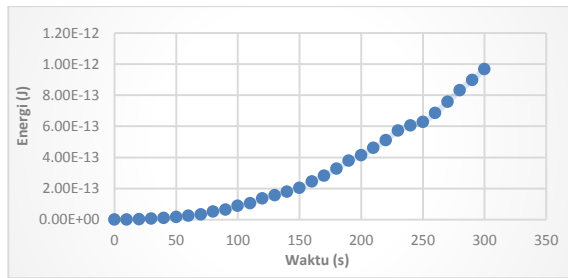


10(b). Grafik Energi

Gambar 10. (a) Tegangan dan (b) Energi yang Tersimpan Dalam Jarak Pengujian 11 Cm



11(a). Grafik Tegangan



11(b). Grafik Energi

Gambar 11. (a) Tegangan dan (b) Energi yang Tersimpan Dalam Jarak Pengujian 50 Cm

Dari hasil pengukuran terlihat bahwa jarak sangat mempengaruhi terhadap hasil energi yang dapat diperoleh. Sesuai dengan persamaan (1) dan (2), energi yang diterima berbanding terbalik dengan rugi-rugi lintasan. Untuk mendapatkan rugi-rugi lintasan yang kecil maka jarak dari antenna penerima dan antenna pengirim harus lebih dekat. Dalam durasi waktu pengukuran yang sama yaitu selama 300 detik, pada saat jarak *antena* penerima sejauh 11 cm tegangan kapasitor naik menjadi 1.805 mV sedangkan pada jarak 50 cm tegangan kapasitor naik menjadi 0.139 mV. Energi yang dapat dikumpulkan lebih besar saat berada pada jarak 11 cm dari *end device* yaitu sebesar 163 pJ. Energi akan terus bertambah sesuai dengan pertambahan waktu sehingga diperlukan sebuah komponen penyimpanan yang lebih besar apabila disimpan sebagai cadangan. Energi hasil *harvesting* juga bisa digunakan langsung untuk mencatu peralatan elektronik dengan daya rendah namun membutuhkan sebuah pengatur atau pengelola sebelum dapat digunakan untuk mencatu daya ke peralatan.

IV. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang dilakukan maka dapat disimpulkan bahwa *end device* LoRa dapat menjadi sumber energi, pada saat sensor-sensor atau *end node device* dari jaringan nirkabel berada pada lingkungan yang tidak terdapat potensi sumber energi. Dari hasil pengujian terlihat bahwa energi yang dihasilkan masih relatif kecil, sehingga dibutuhkan waktu yang cukup lama untuk dapat menyimpan ke sistem penyimpanan atau *storage system*. Untuk menggunakan energi yang telah disimpan dibutuhkan sebuah rangkaian pengatur atau pengelola daya sebelum mencatu ke peralatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Talla, Vamsi et al, "Wi-Fi RF Energy Harvesting for Battery-Free," Intel Corporation, Hillsboro, OR 97124 and Yorgos Palaskas, Department of Electrical

Engineering, University of Washington.

- [2] Lu, Xiao et al, "Wireless Networks with RF Energy Harvesting: A Contemporary Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 2, 2014.
- [3] Sangkil, Kim et al, "Ambient RF Energy-Harvesting Technologies for Self-Sustainable Standalone Wireless Sensor Platforms This paper presents various ambient energy-harvesting technologies and investigate their applicability in the development of self-sustaining wireless platforms," in *IEEE. Vol. 102, No. 11*, 2014.
- [4] Stefano Basagni M et al, "Wireless Sensor Networks With energy Harvesting," John Wiley and Sons., 2013.
- [5] M. Centenaro, L. Vangelista and A. Zanella, "Long-Range Communications in Unlicensed Bands: the Rising Stars in the IoT and Smart City Scenarios, , Oct.," *IEEE Wireless Communications*, vol. Vol. 23, 2016.
- [6] S. Chalasani and J. M. Conrad, "A Survey of Energy Harvesting Sources for Embedded Systems," *IEEE*, 2008.
- [7] B. C. A., *Antenna theory: analysis and design*, John Wiley & Sons., 2012.
- [8] T. T. Le, "Efficient Power Conversion Interface Circuits for Energy Harvesting Applications," *Electrical and Computer Engineering*. Oregon State University, 2008.
- [9] A. F. Oka, "Rancang Bangun Prototipe Sistem Daya Seluler Berbasis RF Energy Harvesting dan Sel Surya," Tugas Akhir Sarjana Teknik Elektro , Fakultas Teknik , Universitas Indonesia, Depok, 2011.
- [10] Augustin, Aloys et al, "A Study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things.," *Sensors 2016*, vol. 1466, no. Enabling the Move from Wireless Sensor Networks to Internet of Things and Cyber-Physical Systems), p. 16, 2016.
- [11] LoRa, "A technical overview of LoRa® and LoRaWAN™.," LoRa Alliance, 2014.
- [12] U. Mehboob, Q. Zaib and C. Usama, "Survey of IoT Communication Protocols Techniques, Applications, and Issues.," xFlow Research Inc, Pakistan, 2016.
- [13] L. Vangelista, A. Zanella and M. Zorzi, "Long-range IoT technologies: the dawn of LoRa," in *1st EAI International Conference on Future access enablers of ubiquitous and intelligent infrastructures*, Ohrid, Republic of Macedonia., 2015.
- [14] "IEEE Antennas and Propagation Magazine," vol. 46, p. 2, 2004.
- [15] S. Malisuwan, N. Tiamnara and N. Suriyakrai, "Design of Antennas for a Rectenna System of Wireless Power Transfer in the LTE/WLAN Frequency Band," *Journal of Clean Energy Technologies*, vol. 5, p. 1, 2017.
- [16] I. M. Budi, E. S. Nugraha and A. Agung, "Perancangan

- dan Analisis Antena Mikrostrip MIMO Circular Pada Frekuensi 2,35 Ghz untuk Aplikasi LTE," *JURNAL INFOTEL*, vol. 9 No 1, pp. 136-146, 2017.
- [17] P. S. Nakar, "Design of compact Microstrip Patch Antenna for use in Wireless/Cellular Devices. A Thesis for Master of Science.," Department of Electrical and Computer Engineering, Florida State University., Florida, 2004.
- [18] Prasad, T. Durga et al, "Comparisons of Circular and Rectangular Microstrip Patch Antennas," Department of Electronic and Communication Engineering, GIT, GITAM University, Visakhapatnam.
- [19] R. Maziar, "High Efficiency Rf To Dc Converter With Reduced Leakage Current For Rfid Applications," Department of Electrical And Computer Engineering , Dalhousie University, 2013.
- [20] Centenaro, M et al, "the Rising Stars in the IoT and Smart City Scenarios".