

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan teknologi elektronika modern, khususnya pada perangkat berdaya rendah seperti sensor nirkabel dan sistem pemantauan, telah meningkatkan kebutuhan energi listrik secara signifikan [1]. Perangkat tersebut umumnya memerlukan sumber daya utama untuk beroperasi. Untuk mengatasi hal ini, teknologi *RF energy harvesting* hadir sebagai solusi dengan memanfaatkan energi gelombang radio yang tersedia di lingkungan. Teknologi ini mampu menambang energi listrik dengan ukuran sistem yang kompak serta memungkinkan pengisian daya secara kontinu selama sumber RF tersedia, sehingga berpotensi mendukung operasional perangkat berdaya rendah secara lebih efisien dan mandiri.

Salah satu pendekatan yang berkembang adalah teknologi *energy harvesting*, yaitu teknik memanfaatkan energi yang tersedia di lingkungan untuk dikonversi menjadi energi listrik. Di antara berbagai sumber energi lingkungan, gelombang radio (*Radio Frequency*/RF) menjadi kandidat yang menarik karena keberadaannya yang kontinu dan melimpah sebagai hasil dari sistem komunikasi nirkabel seperti jaringan seluler, Wi-Fi, dan pemancar radio. Energi RF bersifat tersebar luas dan tidak bergantung pada kondisi mekanik maupun intensitas cahaya, sehingga berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber energi tambahan bagi perangkat elektronik berdaya rendah[1].

Meskipun demikian, tantangan utama dalam pemanenan energi RF adalah rendahnya tingkat daya yang diterima pada sisi antena, yang umumnya berada pada orde mikro-watt hingga mili-watt. Level daya yang rendah ini menyebabkan tegangan DC hasil penyearahan sering kali terbatas, sehingga proses penyimpanan energi menjadi kurang optimal. Oleh karena itu, perancangan sistem *RF energy harvesting* harus dilakukan secara efisien dengan memaksimalkan transfer daya dan meminimalkan rugi-rugi konversi[2].

Secara umum, sistem *RF energy harvesting* terdiri atas dua tahapan utama, yaitu *impedance matching* dan *rectifier*. Tahap *impedance matching* berfungsi untuk mengoptimalkan transfer daya antara antena dan rangkaian penyearah agar

daya yang diterima tidak terpantul kembali ke sumber. Sementara itu, *rectifier* berfungsi mengonversi sinyal RF menjadi tegangan DC[3]. Efisiensi kedua tahap ini sangat menentukan kinerja keseluruhan sistem, terutama pada kondisi daya masukan yang sangat rendah.

Pada penelitian ini, energi DC hasil penyearahan disimpan menggunakan superkapasitor sebagai media penyimpanan. Superkapasitor dipilih karena memiliki keunggulan berupa siklus pengisian–pengosongan yang sangat tinggi, waktu pengisian cepat, serta kemampuan menerima arus kecil secara kontinu. Karakteristik tersebut menjadikan superkapasitor lebih sesuai untuk aplikasi *energy harvesting* dibanding baterai konvensional, khususnya pada kondisi daya rendah dan fluktuatif.

Untuk mendukung proses analisis, tegangan pada superkapasitor dimonitor secara real-time menggunakan sensor arus dan tegangan berbasis INA219 yang dipasang secara paralel tanpa mengganggu proses pengisian. Data tegangan yang diperoleh digunakan untuk mengamati karakteristik pengisian energi, termasuk laju kenaikan tegangan terhadap waktu sebagai indikator performa sistem RF *energy harvesting*.

Penelitian terdahulu umumnya berfokus pada optimasi antena atau peningkatan efisiensi *rectifier* secara terpisah. Namun, kajian eksperimental yang mengevaluasi integrasi *impedance matching* dan *rectifier* secara langsung terhadap proses pengisian superkapasitor masih terbatas. Sebagian penelitian hanya mengevaluasi tegangan keluaran tanpa mengamati dinamika penyimpanan energi secara aktual. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang menelaah perForma sistem secara terpadu hingga tahap penyimpanan energi.

B. Perumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana mengevaluasi kinerja sistem *RF energy harvesting* dalam mengonversi sinyal RF menjadi energi DC menggunakan rangkaian *rectifier* pada kondisi daya rendah serta menyimpannya dalam superkapasitor sebagai media penyimpanan energi. Penelitian difokuskan pada analisis karakteristik tegangan keluaran *rectifier* dan proses pengisian superkapasitor yang dimonitor secara *real-time* menggunakan sensor tegangan

berbasis INA219. Pengamatan dilakukan terhadap profil kenaikan tegangan terhadap waktu sebagai indikator performa sistem dalam proses konversi dan penyimpanan energi. Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental melalui tahap perancangan dan pengujian sistem, dengan analisis kuantitatif terhadap parameter tegangan sebagai dasar evaluasi kinerja sistem *RF energy harvesting* pada kondisi sinyal RF berdaya rendah.

C. Batasan Penelitian

Untuk menjaga fokus dan kedalaman analisis, penelitian ini dibatasi pada:

1. Sistem hanya mencakup subsistem *impedance matching* dan *rectifier*.
2. Tidak menggunakan rangkaian penguat tegangan aktif (*boost converter*).
3. Media penyimpanan energi menggunakan superkapasitor dengan nilai kapasitansi tertentu.
4. Parameter yang dianalisis terbatas pada tegangan DC keluaran, arus, dan karakteristik pengisian superkapasitor.
5. Tidak dilakukan analisis mendalam terhadap desain antena dan karakteristik propagasi gelombang RF.
6. Pengujian dilakukan pada kondisi lingkungan dengan sumber RF yang tersedia secara alami.
7. Pengukuran tegangan dilakukan menggunakan sensor berbasis INA219 yang difungsikan sebagai sistem monitoring tanpa mempengaruhi proses pengisian energi.

Batasan ini ditetapkan untuk menjaga konsistensi ruang lingkup serta mempertimbangkan keterbatasan waktu dan fasilitas penelitian.

D. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem *RF energy harvesting* yang terdiri atas rangkaian *impedance matching* dan *rectifier* sebagai subsistem utama dalam proses konversi energi gelombang radio menjadi energi listrik DC.

Penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis karakteristik tegangan keluaran yang dihasilkan dari proses konversi *RF-to-DC* pada kondisi daya masukan rendah, sehingga dapat diketahui performa dasar sistem. Selanjutnya,

penelitian ini melakukan monitoring tegangan secara *real-time* pada superkapasitor menggunakan sensor berbasis INA219, guna mengamati proses pengisian energi. Data tegangan yang diperoleh digunakan untuk menganalisis laju kenaikan tegangan terhadap waktu sebagai indikator kinerja sistem dalam menyimpan energi. Pengujian juga dilakukan untuk mengevaluasi performa pengisian superkapasitor sebagai media penyimpanan energi berdasarkan karakteristik tegangan yang terukur. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi keterkaitan antara parameter perancangan rangkaian, seperti konfigurasi *matching network* dan topologi *rectifier*, terhadap kinerja pengisian energi yang diamati melalui profil tegangan.

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat akademik

Menambah referensi ilmiah mengenai integrasi impedance matching dan rectifier pada sistem RF energy harvesting berbasis penyimpanan superkapasitor.

2. Manfaat teknis

Memberikan acuan perancangan sistem pemanen energi RF sederhana tanpa penguat tegangan aktif untuk aplikasi daya sangat rendah.

3. Manfaat praktis

Mendukung pengembangan perangkat elektronik mandiri yang memanfaatkan energi lingkungan sebagai sumber daya tambahan.

4. Manfaat pengembangan ipteks

Menjadi dasar bagi penelitian lanjutan dalam optimasi konversi daya RF dan sistem penyimpanan energi skala mikro untuk aplikasi IoT dan sensor nirkabel.