

Bab I

Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Wireless Sensor Network (WSN) merupakan kumpulan sensor berukuran kecil yang ditempatkan di suatu wilayah untuk mendeteksi, mengolah, dan mengirimkan data secara nirkabel ke pusat data atau perangkat lain. Dalam era pertanian modern, pemanfaatan *Wireless Sensor Network* (WSN) untuk memantau kondisi lingkungan dan meningkatkan produktivitas pertanian semakin penting. *Wireless Sensor Network* (WSN) telah merevolusi dalam sektor pertanian dengan mendukung aplikasi pertanian pintar memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan secara real-time dan presisi seperti pemantauan kelembapan tanah, suhu, dan kondisi lingkungan lainnya yang sangat penting untuk pengambilan keputusan tepat dalam praktik pertanian.

Sistem hybrid energy harvesting (EH) pada wireless sensor network (WSN) di lingkungan pertanian menunjukkan potensi yang signifikan untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan. Pendekatan hybrid ini memungkinkan pemanfaatan energi dari radiasi matahari, dan pergerakan angin, sehingga meningkatkan ketersediaan daya untuk sensor nirkabel.

Penerapan teknologi WSN masih dihadapkan pada sejumlah tantangan, diantaranya adalah bergantung pada manajemen efisiensi daya. Keterbatasan pasokan energi bagi sensor dan perangkat mikro yang banyak digunakan di lapangan mengingat node sensor bergantung pada sumber daya terbatas seperti baterai seringkali menjadi kendala utama. Sebagian besar sistem WSN bergantung pada sumber energi berbasis baterai yang memiliki keterbatasan dalam hal masa pakai dan ketersediaan energi. Masalah ini semakin nyata dalam konteks pertanian presisi, di mana pemantauan yang akurat dan berkelanjutan sangat penting untuk pengambilan keputusan yang efisien, seperti irigasi otomatis dan manajemen lahan yang optimal. Salah satu pendekatan potensial untuk mengatasi masalah pasokan energi ini adalah dengan mengimplementasikan sistem pemanenan energi hibrida (energy harvesting) dari sumber daya terbarukan yang menggabungkan energi

surya dan angin sebagai sumber energi untuk jaringan sensor menjadi solusi yang menjanjikan.

Sistem tersebut dapat meningkatkan ketersediaan daya bagi sensor sehingga memperpanjang umur operasional dan mengurangi ketergantungan pada penggantian baterai. Salah satu aspek penting yang perlu diterapkan adalah pendekatan *coverage awareness* yaitu kemampuan sistem untuk memastikan bahwa seluruh area yang ingin dipantau dengan efisien dapat terjangkau oleh sensor-sensor yang ada. Pendekatan *coverage awareness* akan diterapkan untuk memastikan cakupan jaringan yang optimal dan efisiensi energi melalui melakukan pengujian komprehensif untuk menganalisis performa sistem hybrid energy harvesting dalam berbagai kondisi lingkungan yang dinamis diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan system WSN berkelanjutan dan mendukung pertanian modern. Berangkat dari tantangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem yang menggabungkan energi surya dan angin dengan *Wireless Sensor Network* (WSN) untuk meningkatkan efisiensi energi dan cakupan pemantauan dalam sektor pertanian. Beberapa penelitian terkini telah mengkaji penggunaan teknologi *Wireless Sensor Networks* (WSN) dalam pertanian pintar.

Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa WSN memungkinkan pemantauan kondisi pertanian secara real-time, namun kendala energi menjadi hambatan utama. Mengidentifikasi bahwa penerapan teknik hemat energi dapat menjadi solusi untuk meningkatkan efisiensi energi dalam aplikasi pertanian. Meskipun menunjukkan potensi sebagai solusi hemat energi, teknologi ini masih berada dalam tahap pengembangan dan belum sepenuhnya selesai atau matang diimplementasikan dalam skala lapangan. Keterbatasan ini menimbulkan pertanyaan mengenai kinerja aktual dalam kondisi lingkungan nyata di sektor pertanian, kelemahan lainnya menghasilkan output daya yang rendah, terutama jika dibandingkan menggunakan sumber energi terbarukan lainnya, seperti energi dari panel surya dan turbin angin.

Contoh hasil dari salah satu penelitian terkait WSN ialah source node berhasil mengirimkan data, menerima parameter kontrol, serta melakukan proses

kontrol sesuai data parameter kontrol yang diterima dari Sink berhasil mengirimkan data parameter kontrol ke source node, melakukan pengiriman data yang diterima dari source node ke database server. Nilai rata-rata masing-masing alat adalah, sensor suhu sebesar 1,81%, sensor kelembaban 0,95 % dan sensor intensitas sebesar 1,78 %. Berdasarkan hasil pengujian Multi-node dalam 1 sink jumlah node maksimal yang masih bisa mengirimkan data yaitu 5 node dengan persentase keberhasilan pengiriman data 30%, sedangkan jumlah node yang optimal dalam 1 sink adalah 3 node dengan persentase keberhasilan pengiriman data 70%[1].

Selain itu menjelaskan bahwa penerapan sumber energi terbarukan, misalnya energi dari panel surya dan turbin angin sangat cocok untuk memperpanjang umur operasional sistem WSN di lapangan, yang sekaligus mengurangi ketergantungan pada baterai. Dari penelitian ini mengabaikan fluktuasi energi dihasilkan melalui panel surya dan turbin angin akibat perubahan kondisi cuaca. Ketika terjadi mendung berkepanjangan atau kecepatan angin yang rendah, sistem mungkin mengalami penurunan daya yang signifikan, kemudian dari sisi penggunaan panel surya dan turbin angin, meskipun efektif, memerlukan biaya awal yang tinggi, terutama untuk skala pertanian kecil atau menengah[2].

Hal ini mencakup pengujian efektivitas pemanenan energi, efisiensi penggunaan energi, serta kemampuan system dalam menjaga cakupan yang optimal. Penelitian ini berfokus pada evaluasi kinerja dan efisiensi system hybrid energy harvesting pada WSN di lingkungan pertanian dengan mendokumentasikan hasil analisis pengujian system dalam berbagai kondisi lingkungan, analisis performa berdasarkan parameter desain, dan hasil penelitian yang detail.

Evaluasi kinerja sistem energy harvesting hybrid menunjukkan peningkatan signifikan dalam hal kepadatan daya yang dihasilkan, dengan rentang $1.96 \mu\text{W}/\text{cm}^3$ hingga $2669 \mu\text{W}/\text{cm}^3$ [3]. Namun, tantangan utama terletak pada optimalisasi parameter sistem seperti faktor pembagian spektrum dan parameter SWIPT hybrid untuk memaksimalkan throughput dan efisiensi energi[4]. Penggunaan algoritma optimasi seperti particle swarm optimization dapat membantu mengatasi tantangan ini. Secara keseluruhan, sistem EH hybrid menunjukkan potensi besar untuk menciptakan WSN yang mandiri energi di lingkungan pertanian, mendukung

implementasi teknologi pertanian presisi dan Internet of Things (IoT) di sektor agrikultur[5].

Dengan melakukan analisis menyeluruh diharapkan system ini dapat memberikan solusi yang lebih efisien, berkelanjutan, dan adaptif dalam mendukung aplikasi WSN di sector pertanian sehingga dapat dijadikan referensi bagi praktisi pertanian dalam mengimplementasikan solusi berbasis WSN yang ramah lingkungan dan hemat energi dalam mengoptimalkan manajemen daya berbasis energi terbarukan.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan pada latar belakang tersebut, permasalahan yang akan diteliti dalam penelitian tugas akhir ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Evaluasi kinerja sistem hybrid energy harvesting (panel surya + turbin angin) dalam menyediakan daya berkelanjutan untuk WSN pertanian, meliputi stabilitas output daya dan efisiensi konversi energi.
2. Analisis kontribusi masing-masing sumber energi terhadap total daya sistem serta pengaruh variasi harian/musiman terhadap keseimbangan kontribusi sumber surya dan angin.

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut adalah tujuan yang ingin dicapai pada penulisan proposal/TA.

1. Mengevaluasi kinerja sistem hybrid energy harvesting berbasis panel surya dan turbin angin dalam menghasilkan dan menyuplai daya ke jaringan sensor nirkabel (WSN).
2. Menganalisis kontribusi masing-masing sumber energi terhadap total energi yang dihasilkan.

1.4 Batasan dan Asumsi Penelitian

Hipotesis dari tulisan ini adalah

1. Penelitian ini dibatasi pada lingkungan rooftop kampus yang memiliki karakteristik iklim dengan variasi intensitas cahaya matahari dan

kecepatan angin tertentu sehingga hasilnya mungkin tidak dapat digeneralisasi untuk semua jenis lingkungan pertanian.

2. Berfokus pada kinerja dan analisis efisiensi system hybrid energy harvesting pada Wireless Sensor Network.
3. Jenis perangkat sensor yang digunakan sesuai dengan aplikasi dalam sektor pertanian (kelembapan tanah, intensitas cahaya).
4. Daya yang diperlukan hanya untuk node sensor sejumlah 5 dan 2 untuk sensor kelembapan tanah selama 24 jam sebesar 45.6 Wh.

1.5 Manfaat Penelitian

Kontribusi dari tulisan ini adalah

1. Memberikan bukti mengenai efektivitas pemanfaatan sistem hybrid energy harvesting (gabungan panel surya dan turbin angin) untuk meningkatkan keberlanjutan operasional WSN.
2. Menjadi rujukan teknis dalam pengembangan manajemen daya yang adaptif melalui penerapan mode deep sleep dan pengaturan distribusi daya berbasis kebutuhan node sensor.
3. Menunjukkan bahwa pendekatan coverage-awareness mampu menjaga stabilitas komunikasi dan cakupan pemantauan, bahkan dalam kondisi energi terbatas, yang relevan bagi implementasi sistem WSN di sektor pertanian.

1.6 Rencana Kegiatan

Berikut ini adalah rencana kegiatan yang akan saya jalankan :

1. Studi Literatur
2. Pengumpulan Data
3. Memeriksa hasil
4. Kesimpulan

1.7 Jadwal Kegiatan

Laporan proposal ini akan dijadwalkan sesuai dengan Tabel I. 1 berikut.

Tabel I. 1 Jadwal Kegiatan

No	Kegiatan	Bulan ke-																							
		1				2				3				4				5				6			
1	Studi Literatur																								
2	Pengumpulan Data																								
3	Analisis dan Perancangan Sistem																								
4	Implementasi Sistem																								
5	Analisa Hasil Implementasi																								
6	Penulisan Laporan																								