

BAB 1

USULAN GAGASAN

Pada bab ini akan dibahas gagasan mengenai penerapan teknologi *Wireless Power Transfer* (WPT) sebagai solusi inovatif untuk mendukung keberlanjutan perangkat *Internet of Things* (IoT) di sektor pertanian. Usulan gagasan ini dilatarbelakangi oleh kebutuhan daya yang berkelanjutan bagi perangkat IoT yang tertanam di lahan pertanian, khususnya untuk mendukung pemantauan kondisi tanah secara *real-time*. Dengan memanfaatkan sistem WPT, diharapkan perangkat IoT dapat beroperasi tanpa adanya kendala, sehingga meningkatkan efisiensi dan efektivitas sistem *monitoring* serta mendukung pengembangan pertanian presisi.

1.1 Deskripsi Umum Masalah

Dalam beberapa tahun terakhir, teknologi IoT telah memberikan dampak besar pada sektor pertanian melalui konsep pertanian pintar (*smart agriculture*). Konsep ini didukung dengan penggunaan teknologi yang menggunakan berbagai jenis sensor, perangkat kontrol, *drone*, dan juga *smartphone* untuk meningkatkan efisiensi, produksi, dan pengelolaan lahan pertanian [1]. Namun, tantangan utama yang dihadapi dalam penerapan perangkat IoT di lahan pertanian adalah kebutuhan daya yang berkelanjutan untuk menjaga operasional perangkat tersebut.

Sistem IoT yang diimplementasikan pada lahan pertanian mendukung berbagai aplikasi seperti pemantauan tanah dan tanaman, pengamatan dan pemilihan pertumbuhan tanaman, pertanian presisi, dukungan penilaian irigasi, sistem pemantauan serta pengendalian lingkungan rumah kaca, dan lain-lain. Teknologi sensor yang digunakan bisa merupakan sensor kelembapan tanah, sensor ketinggian air, sensor deteksi analit, dan lain-lain [2]. Dari berbagai perangkat yang digunakan untuk dukungan sistem IoT, diperlukan pula manajemen daya yang sesuai. Saat ini banyak dari sistem IoT masih menggunakan kabel maupun baterai konvensional. Namun, penggunaan kabel yang berlebihan akan mengganggu aktivitas agrikultur, sehingga diperlukan solusi yang lebih efisien untuk menggantikan fungsi kabel.

Bidang pertanian saat ini menghadapi sejumlah masalah yang cukup kompleks, terutama karena kebutuhan untuk meningkatkan produksi secara efisien. Hal ini mendorong pertanian untuk bergantung pada teknologi, seperti sistem IoT dan otomasi [3]. Namun, tantangan utama yang dihadapi dalam penerapan perangkat IoT di lahan pertanian adalah manajemen daya perangkat yang kurang efisien. Saat ini perangkat sistem IoT yang digunakan seperti sensor, perangkat kontrol, *drone*, dan *smartphone* mengandalkan baterai atau catu daya langsung dari sumber listrik. Hal tersebut mengakibatkan minimnya mobilitas dan pengisian daya dari

perangkat-perangkat tersebut. Sedangkan perangkat IoT ini perlu beroperasi secara berkala dan memerlukan daya yang berkelanjutan agar sistem IoT tetap dapat berjalan dengan optimal.

Berdasarkan survei lapangan di Kementerian Pertanian, Balai Besar Pelatihan Pertanian (BBPP) Lembang, ditemukan bahwa infrastruktur IoT yang ditanam di bawah tanah masih menghadapi kendala signifikan terkait manajemen kabel dan keteraturan instalasi. Banyak kabel yang berserakan dan tidak rapi, bahkan terlihat mengganggu ekosistem lahan dan operasional pelatihan, sementara perangkat IoT terutama sensor tanah tertanam di lokasi yang sulit diakses dan tidak tersusun dengan memadai. Kondisi ini tidak hanya menurunkan estetika dan efektivitas pemeliharaan, tetapi juga meningkatkan risiko gangguan fungsional dan kesalahan membaca data. Latar masalah ini tercermin dari tantangan umum implementasi IoT dalam pertanian, seperti perlunya manajemen kabel terstruktur agar mencegah kerusakan dan memudahkan *maintenance*. IoT di sektor agrikultur harus menghadapi hambatan teknis seperti instalasi *underground*, dan kabel yang mudah rusak [4]

Maka dari itu diperlukan sistem WPT untuk pengisian daya pada perangkat IoT yang tertanam di bawah tanah, untuk mencegah kerusakan dan memudahkan *maintenance*. Di sisi lain, penerapan teknologi WPT, juga menghadapi tantangan tersendiri. Lahan pertanian seringkali memiliki berbagai elemen fisik, seperti pepohonan, bangunan, dan medan yang tidak rata, yang dapat menghalangi atau mengurangi efisiensi transfer daya dari sistem WPT [5]. Cuaca buruk, seperti hujan dan kabut juga berpotensi mempengaruhi kinerja sistem, terutama pada metode yang memerlukan visibilitas langsung. Interferensi lingkungan ini menjadi tantangan yang signifikan dalam memastikan keandalan pasokan daya untuk perangkat IoT di lahan pertanian. Variasi karakteristik tanah dan jenis tanaman di setiap lokasi pertanian juga dapat mempengaruhi pengaturan dan operasional perangkat IoT serta sistem WPT. Perbedaan ini tantangan dalam menyesuaikan sistem dengan kondisi pertanian yang beragam, yang dapat menghambat keberhasilan penerapan teknologi. Dengan demikian, pemahaman yang mendalam mengenai kondisi lingkungan dan jenis tanaman menjadi kunci untuk mengoptimalkan penggunaan WPT dalam pertanian pintar.

1.2 Analisis Masalah

WPT saat ini sudah mulai umum digunakan atau diaplikasikan untuk membantu kehidupan manusia. Oleh karena itu perlu peninjauan aspek untuk mengatur pengimplentasian WPT agar tidak mengganggu keberlangsungan hal lainnya. Beberapa aspek yang perlu ditinjau dalam penerapan teknologi WPT untuk perangkat IoT di bidang agrikultur diantaranya adalah sebagai berikut:

1.2.1 Aspek Ekonomi

Penggunaan WPT di sektor agrikultur menghadirkan tantangan ekonomi yang signifikan, terutama terkait biaya infrastruktur dan material yang lebih tinggi [6]. Sistem WPT yang dirancang untuk agrikultur harus mampu beroperasi dalam kondisi lingkungan yang keras, seperti kelembapan tinggi atau rendah dan paparan debu, sehingga memungkinkan material khusus yang lebih mahal. Selain itu, investasi awal untuk membangun infrastruktur pengisian daya yang mencakup area pertanian yang luas menjadi hambatan. Meskipun WPT menawarkan manfaat jangka panjang, seperti pengurangan kebutuhan baterai besar untuk perangkat IoT dan efisiensi operasional, manfaat ini baru terasa setelah waktu yang cukup lama, yang dapat menghalangi pengadopsian teknologi ini secara luas [6].

Di lingkungan agrikultur, perencanaan sistem WPT juga memerlukan penyesuaian lokasi pengisian daya agar mencakup area yang luas dan terpencil, sehingga meningkatkan kompleksitas dan biaya instalasi. Selain itu, keberhasilan implementasi sangat bergantung pada infrastruktur pendukung seperti jaringan listrik yang memadai yang seringkali terbatas di daerah yang sulit dijangkau catu daya listrik [6]. Skalabilitas sistem juga menjadi tantangan, karena kebutuhan daya perangkat IoT dapat berbeda-beda tergantung pada jenis tanaman, pola irigasi, dan aktivitas pertanian lainnya, sehingga desain sistem harus disesuaikan untuk memenuhi kebutuhan spesifik tersebut. Dukungan dari pemerintah atau organisasi agrikultur dalam bentuk insentif atau subsidi dapat membantu mengurangi hambatan ekonomi ini. Dengan perencanaan strategis dan dukungan eksternal, WPT di sektor agrikultur memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan dalam jangka panjang.

1.2.2 Aspek Teknologi

Sistem WPT memiliki beberapa masalah yang perlu diperhatikan dalam penerapannya pada bidang agrikultur. Daya transfer yang rendah menjadi kendala, terutama untuk perangkat konsumen yang membutuhkan daya besar [10]. Kedua, efisiensi transfer energi dapat menurun secara signifikan jika terjadi ketidaksesuaian sumbu antara kumparan pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*), yang mengganggu aliran daya optimal [7]. Ketiga, peningkatan jarak antara pemancar dan penerima juga berdampak pada penurunan efisiensi transfer, membuat sistem ini kurang ideal untuk aplikasi jarak jauh [7]. Terakhir, implementasi teknologi WPT sering kali kompleks, memerlukan perancangan yang presisi dan perangkat keras khusus, yang dapat meningkatkan biaya dan tantangan teknis [7].

Selain itu, transmisi listrik nirkabel juga mengalami penurunan efisiensi karena faktor-faktor seperti interferensi elektromagnetik dan jarak antara perangkat pemancar dan penerima.

Gangguan elektromagnetik dari peralatan elektronik yang berdekatan dapat menghambat mekanisme transfer daya serta mengurangi kinerja sistem secara keseluruhan [8]. Dalam perancangan WPT diperlukan referensi dari penelitian sebelumnya untuk hasil yang lebih optimal.

1.2.3 Aspek Regulasi

Aspek regulasi dan kebijakan berperan penting dalam keberhasilan penerapan transmisi daya nirkabel (WPT) di bidang pertanian. Penggunaan frekuensi untuk transmisi daya nirkabel yang sudah diatur oleh pemerintah, dan pembatasan frekuensi atau daya maksimum dapat membatasi efektivitas sistem WPT. Regulasi WPT sudah diatur di beberapa negara, seperti Jepang, Korea dan China.

Untuk peraturan WPT di Jepang, perangkat yang memiliki daya transmisi tidak melebihi 50 Watt tidak memerlukan izin dari administrator untuk operasi. Teknologi WPT untuk perangkat bergerak menggunakan 6,78 MHz dan yang menggunakan pita 400 kHz telah diasumsikan sebagai kasus penggunaan yang tidak melebihi 50 Watt daya transmisi sejauh ini [9]. Untuk Korea, peralatan WPT diatur sebagai peralatan ISM di kisaran 100-205 kHz, kekuatan medan listrik perangkat WPT kurang dari atau sama dengan 500 $\mu\text{V} / \text{m}$ pada 3 meter. Nilai ini harus diperoleh dengan pedoman pengukuran yang mengacu pada CISPR / I / 417 / PAS, dan di kisaran 19-21 kHz, 59-61 kHz, kekuatan medan listrik perangkat WPT kurang dari atau sama dengan 100 $\mu\text{V}/\text{m}$ pada jarak 100 m [10].

Di Indonesia, untuk regulasi dibedakan berdasarkan izin kelas. WPT dikategorikan dalam kelas *Short Range Device* atau SRD, yang diatur pada Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia No. 2 tahun 2023 tentang penggunaan spektrum frekuensi radio berdasarkan izin kelas [11]. Selain itu, WPT ini menggunakan Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika RI No. 35 tahun 2015 tentang persyaratan teknis alat dan perangkat telekomunikasi jarak dekat, selain itu juga menggunakan Peraturan Direktur Jenderal Pos dan Telekomunikasi No. 214/DIRJEN/2005 tentang Persyaratan Teknis Alat dan Perangkat dengan Daya Pancar di Bawah 10 mW [12]. Pembatasan ini dapat membatasi efektivitas sistem WPT, terutama dalam hal jangkauan dan daya yang dapat ditransmisikan.

1.3 Analisis Solusi yang Ada

Berdasarkan permasalahan yang diangkat, terdapat beberapa solusi yang sudah pernah di implementasi, seperti *Microwave Wireless Powering for Tile Drainages*, *Underwater Ultrasonic WPT for Battery-Less Platform IoT*, dan *Wireless Power Transfer Through Soil Over a Range of Moisture Levels for In-Situ Soil Health Monitoring*. Pada solusi yang sudah

disebutkan, masing-masing memiliki perbedaan metode yang digunakan dan target implementasi yang berbeda namun cocok diaplikasikan pada masalah yang sedang dihadapi.

1.3.1 *Underwater Ultrasonic WPT for Battery-Less Platform Internet of Underwater Things*

Underwater Ultrasonic WPT for Battery-Less Platform Internet of Underwater Things merupakan salah satu solusi yang sudah diimplementasikan pada teknologi WPT untuk memberikan daya pada perangkat elektronik di dalam air. Sensor atau perangkat bekerja menggunakan baterai yang dapat diisi ulang secara nirkabel menggunakan gelombang ultrasonik dari jarak yang lebih jauh. Arsitektur platform bawah air mampu mengekstraksi energi listrik dari gelombang ultrasonik yang dipancarkan dari WPT melalui perambatan gelombang. Prinsip yang digunakan pada umumnya menggunakan induksi berbasis elektromagnetik (seperti kopling induktif medan dekat dan efek resonansi magnetik menengah), gelombang ultrasonik, dan perambatan cahaya. *Electromagnetic coupling* dapat direalisasikan baik dengan kumparan atau dengan spiral. Namun, WPT dengan induktor spiral memberikan kinerja yang lebih baik di dalam air [13].

1.3.2 *Microwave Wireless Powering for Tile Drainages*

Microwave Wireless Powering for Tile Drainages merupakan sebuah teknik untuk transfer daya pada sensor pertanian yang terkubur di dalam tanah. Transfer daya dilakukan dengan menggunakan gelombang elektromagnetik (EM). Namun, gelombang EM tidak mampu melewati kontur tanah sehingga dalam metode ini gelombang EM dikirim melalui pipa drainase. Dalam teknik ini, dengan sedikit modifikasi, pipa drainase dapat berfungsi sebagai pandu gelombang melingkar, seluruh sistem drainase dapat dianggap sebagai jaringan pandu *microwave* yang terhubung dan dapat membawa gelombang elektromagnetik untuk jarak jauh. Dengan menggunakan penyearah efisiensi tinggi, gelombang EM yang merambat kemudian diubah menjadi daya DC untuk mengisi daya baterai sensor bawah tanah [14].

1.3.3 *Wireless Power Transfer Through Soil Over a Range of Moisture Levels for In-Situ Soil Health Monitoring*

Wireless Power Transfer Through Soil Over a Range of Moisture Levels for In-Situ Soil Health Monitoring merupakan sistem WPT yang dapat melewati media tanah sebagai catu daya sensor *monitoring* tanah dengan memantau kelembapan dan kesehatan tanah [15]. Daya ditransfer secara nirkabel melalui sumber RF (*radio frequency*). Sistem ini bekerja dengan frekuensi 1,4 MHz dan 1 MHz untuk pengoperasian yang optimal pada media tanah liat dan

berpasir. Sistem ini dapat melakukan transfer daya untuk perangkat pada jarak 30 cm dari permukaan tanah hingga ke dalam tanah[15].

1.4 Tujuan Tugas Akhir

1. Merancang dan membangun sistem pengisian daya (*charging*) untuk perangkat IoT tanpa menggunakan kabel, dengan memanfaatkan teknologi WPT.
2. Mengembangkan sistem transfer daya nirkabel yang mampu mentransmisikan tegangan hingga jarak 20 cm.
3. Mengevaluasi performansi sistem WPT yang dibangun untuk menyuplai daya rendah pada perangkat IoT di bidang agrikultur, dengan batasan jarak transfer pendek.

1.5 Batasan Tugas Akhir

Sistem WPT yang dirancang untuk mentransfer daya pada perangkat IoT secara nirkabel, sehingga perangkat IoT akan lebih efisien dalam penggunaannya. Oleh karena itu, dibutuhkan batasan yang lebih terperinci untuk memastikan implementasi WPT ini bisa diterapkan secara optimal dan sesuai dengan kebutuhan. Batasan ini akan menjadi pedoman untuk bisa menyelesaikan masalah yang ada.

1. Sistem WPT yang dirancang secara spesifik untuk mendukung suplai daya pada perangkat IoT yang digunakan pada lingkungan pertanian atau perkebunan.
2. Implementasi WPT pada perangkat IoT, diperlukan keluaran daya dari WPT untuk suplai daya pada perangkat. Rentang daya transfer yang diperlukan berkisar antara 1 hingga 10 Watt. Untuk mendukung sistem IoT yang lebih kompleks atau menggunakan lebih banyak teknologi, maka diperlukan suplai daya yang lebih besar.
3. Sistem WPT yang dirancang termasuk dalam kategori WPT *Non-Beam*, yaitu sistem transfer daya nirkabel yang bekerja secara efektif pada jarak dekat.