

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tanah merupakan salah satu komponen penting dalam sistem ekologis yang menopang keberlangsungan kehidupan makhluk hidup, khususnya manusia. Fungsinya tidak hanya sebagai media tumbuh tanaman, tetapi juga sebagai tempat berlangsungnya berbagai proses kimia, fisika, dan biologi yang kompleks. Salah satu parameter penting yang mencerminkan kualitas tanah adalah nilai pH, yakni ukuran keasaman atau kebasaan tanah. Nilai pH tanah sangat memengaruhi ketersediaan unsur hara, aktivitas mikroorganisme, dan kesehatan tanaman secara keseluruhan. Tanah dengan pH ideal antara 6 hingga 7 memiliki kemampuan terbaik dalam menyediakan unsur hara bagi tanaman [1]. Ketidakseimbangan pH, baik terlalu asam maupun basa, dapat menyebabkan keracunan unsur tertentu, defisiensi hara, serta terganggunya metabolisme tanaman.

Kondisi pH tanah sangat rentan mengalami perubahan akibat aktivitas manusia, terutama di wilayah yang menjadi pusat penampungan limbah seperti Tempat Pembuangan Akhir (TPA). TPA Ganet di Kota Tanjungpinang merupakan salah satu contoh kawasan yang berpotensi mengalami penurunan kualitas tanah akibat akumulasi limbah rumah tangga dan industri. Proses dekomposisi limbah di TPA menghasilkan lindi (*leachate*) yang mengandung senyawa kimia organik maupun anorganik. Lindi ini berpotensi masuk ke dalam pori-pori tanah dan air tanah, mengubah sifat kimia tanah termasuk nilai pH-nya [2]. Perubahan pH tanah di sekitar TPA dapat berdampak ekologis jangka panjang, terutama jika tidak dilakukan pengelolaan dan pemantauan secara berkelanjutan.

Pemantauan pH tanah menjadi langkah penting dalam menjaga kualitas dan fungsi ekologis lahan, terutama di kawasan yang rentan terhadap pencemaran. Kualitas tanah yang terjaga dengan baik berperan penting dalam mendukung keberlanjutan ekosistem, karena tanah berfungsi sebagai media tumbuh tanaman, penyangga siklus hidrologi, habitat mikroorganisme, serta penyaring alami bagi polutan. Penurunan kualitas tanah, termasuk perubahan pH yang ekstrem, dapat mengganggu ketersediaan unsur hara, meningkatkan mobilitas logam berat, menurunkan produktivitas lahan, dan memperlemah kemampuan tanah dalam

menahan pencemaran. Dengan demikian, menjaga fungsi ekologis tanah berarti juga menjaga kestabilan ekosistem, produktivitas pertanian, dan keberlanjutan sumber daya lingkungan. Metode pemantauan pH tanah secara konvensional memerlukan biaya besar, waktu yang relatif lama, serta keterlibatan tenaga ahli laboratorium. Hal ini menjadi kendala bagi proses pemantauan di lapangan, terutama jika dibutuhkan data secara berkala dan cepat.

Perkembangan teknologi sensor dan mikrokontroler, seperti Arduino dan ESP32, menawarkan alternatif efisien dan praktis dalam pengukuran pH tanah secara *real-time*. Sistem berbasis mikrokontroler memungkinkan pengembangan alat pemantauan yang portabel, hemat biaya, dan mampu mengintegrasikan berbagai sensor. Pemanfaatan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan integrasi sensor dengan jaringan *internet* sehingga data hasil pengukuran dapat langsung dikirim ke *server* atau *cloud* untuk dianalisis dan dimonitor dari jarak jauh [3]. Implementasi teknologi ini meningkatkan efisiensi pengumpulan data dan memberikan fleksibilitas dalam pengawasan lahan secara berkelanjutan.

Sebagian besar studi sebelumnya hanya berfokus pada sistem pemantauan pH tanah dengan konektivitas berbasis *WiFi* atau jaringan lokal yang stabil. Sistem tersebut umumnya mengandalkan satu titik pengamatan dan membutuhkan ketersediaan jaringan sumber listrik yang tidak selalu tersedia di lokasi terpencil seperti TPA. Namun, pendekatan yang ada belum mengakomodasi penggabungan data dari beberapa titik secara efisien dan belum memanfaatkan komunikasi perangkat nirkabel yang dapat bekerja tanpa akses *internet* langsung.

Dalam menjawab tantangan keterbatasan jaringan di lokasi terpencil seperti TPA, dibutuhkan metode komunikasi data yang teruji tanpa bergantung pada koneksi internet. ESP-NOW merupakan protokol komunikasi nirkabel yang dikembangkan oleh Espressif untuk memungkinkan pertukaran data antar perangkat ESP32 secara langsung (*device-to-device*) dengan konsumsi daya rendah dan latensi yang minim [4]. Teknologi ini sangat cocok untuk sistem pemantauan multi-titik karena mampu mengirimkan data secara stabil hingga jarak menengah tanpa memerlukan akses *point* atau *router* tambahan. ESP-NOW digunakan dalam penelitian ini untuk menjembatani komunikasi antara dua perangkat di lokasi berbeda yaitu di titik yang paling dekat dengan sumber sampah dan titik yang lebih

jauh sehingga data dari kedua lokasi dapat dikombinasikan dan dikirim ke *server cloud* secara efisien melalui perangkat penerima yang terhubung ke *modem stick*.

Oleh karena itu, penggunaan ESP-NOW menjadi pendekatan yang relevan dalam sistem pemantauan pH tanah yang melibatkan lebih dari satu titik pengukuran. Protokol ini mendukung komunikasi langsung antar perangkat tanpa membutuhkan jaringan tambahan, sehingga memungkinkan integrasi data dari beberapa lokasi secara efisien. Pemilihan ESP-NOW dalam penelitian ini didasarkan pada kebutuhan akan sistem yang hemat daya, mudah diimplementasikan di lapangan, serta memiliki potensi untuk digunakan dalam komunikasi jarak pendek antar perangkat tanpa bergantung pada ketersediaan jaringan internet.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka perumusan masalah dalam penelitian ini adalah belum adanya sistem yang diterapkan dalam pemantauan pH tanah berbasis ESP32 dengan komunikasi ESP-NOW serta pengiriman data melalui *modem stick* ke *server cloud* IoT, sebagai upaya mendukung pemantauan kualitas tanah secara efisien dan berkelanjutan di kawasan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) kota Tanjungpinang.

C. Batasan Penelitian

Dalam rangka menjaga fokus dan keterarahan penelitian serta menghindari pembahasan yang terlalu luas, penelitian ini dibatasi pada beberapa hal berikut:

1. Penelitian dilakukan di dua titik lokasi yang telah ditentukan, yaitu satu titik di area yang paling dekat dengan sumber sampah dan satu titik lainnya di lokasi yang relatif jauh dari sumber sampah pada kawasan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) kota Tanjungpinang.
2. Penelitian ini tidak membahas ataupun mengkaji faktor-faktor penyebab perubahan pH tanah, baik dari aspek kimia seperti jenis limbah, proses dekomposisi, ataupun karakteristik tanah di wilayah TPA, serta tidak melibatkan parameter lain dalam penilaian kualitas tanah selain nilai pH.

3. Pemantauan pH tanah dilakukan dengan menggunakan perangkat yang dirancang secara mandiri, pengecekan pengukuran pH tidak dilakukan dengan perbandingan terhadap alat laboratorium atau alat pengukur profesional lainnya.
4. Data yang dikumpulkan merupakan hasil pengukuran pada waktu dan hari yang telah ditentukan selama proses penelitian. Sehingga variasi pH akibat musim, curah hujan, atau perubahan lingkungan lainnya tidak termasuk dalam cakupan penelitian ini.
5. Penelitian ini berfokus pada aspek perancangan sistem pemantauan dan pengambilan data pH tanah, tanpa membahas lebih lanjut dampak perubahan pH terhadap ekosistem tanah, flora-fauna, atau kesehatan manusia secara langsung.
6. Pengujian dilakukan dalam kondisi lingkungan standar tanpa mempertimbangkan pengaruh variasi jenis jaringan seluler, gangguan sinyal, jenis perangkat IoT lain, maupun kondisi teknis di luar parameter utama sistem yang dirancang.

D. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pemantauan pH tanah berbasis mikrokontroler ESP32 dengan memanfaatkan komunikasi nirkabel ESP-NOW untuk pengiriman data antar perangkat secara efisien tanpa memerlukan koneksi *internet* langsung. Sistem ini terdiri dari dua perangkat, yaitu satu perangkat yang berfungsi sebagai pengambil dan pengirim data pH tanah dari lokasi yang lebih jauh dari sumber sampah, serta satu perangkat lainnya yang berfungsi sebagai pengambil data dari lokasi yang dekat dan sekaligus sebagai penerima serta pengirim gabungan data ke *server cloud* IoT melalui modem *USB stick*. Sistem ini dirancang agar mampu bekerja secara *real-time*, hemat daya, dan mandiri, sehingga sesuai untuk diterapkan di wilayah dengan keterbatasan ketersediaan jaringan sumber listrik seperti Tempat Pembuangan Akhir (TPA).

E. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi pemantauan pH tanah yang lebih efisien dan adaptif melalui pemanfaatan mikrokontroler ESP32 dan komunikasi nirkabel ESP-NOW. Sistem yang dirancang tidak hanya bermanfaat secara akademis sebagai bentuk inovasi dalam penerapan *Internet of Things* (IoT) untuk pemantauan lingkungan, tetapi juga memiliki manfaat praktis dalam menyediakan alat pemantauan pH tanah secara *real-time* di dua lokasi berbeda, yakni area yang dekat dan jauh dari pusat penumpukan sampah. Data yang diperoleh dari kedua lokasi ini dapat menggambarkan kondisi keasaman atau kebasaan tanah akibat pengaruh limbah, sehingga memberikan informasi awal yang berguna untuk mendeteksi potensi pencemaran. Hasil dari penelitian ini dapat menjadi acuan dalam pengawasan kualitas tanah di sekitar Tempat Pembuangan Akhir (TPA) serta mendukung pengambilan keputusan terkait pengelolaan lingkungan yang lebih terarah dan berbasis data.