

BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Deskripsi Umum Masalah

1.1.1 Latar Belakang Masalah

Kandungan air tanah (KAT) berperan sebagai sumber utama penyediaan air bagi tanaman yang mempengaruhi pertumbuhan, produktivitas, kelembapan, dan jumlah nutrisi yang tersedia bagi tanaman dan status aerasi tanah [1], [2]. Hal ini memengaruhi perkecambahan benih, pertumbuhan dan nutrisi tanaman, penguraian mikroba dari bahan organik tanah, transformasi hara di zona perakaran. Kuantifikasi KAT diperlukan untuk berbagai aplikasi, mulai dari kalibrasi skala besar model iklim skala global hingga pemantauan lapangan dalam sistem pertanian dan hortikultura. Pengukuran KAT membantu mengoptimalkan volume dan jadwal irigasi, serta nutrisi tanaman. KAT juga merupakan variabel kunci dalam menentukan laju penguraian bahan organik tanah, yang dapat memengaruhi, misalnya, laju respirasi tanah dan penyerapan karbon tanah [3]. Area pertanian memerlukan peta kandungan air tanah (KAT) yang bisa digunakan untuk area skala besar daripada skala kecil. Hal ini disebabkan oleh pemahaman bahwa perbedaan-perbedaan dalam sifat tanah di lapisan dangkal (dengan kedalaman maksimal sekitar 1-2 meter) memiliki pengaruh terhadap pergerakan dan retensi air tanah, ketersediaan nutrisi, serta pertumbuhan akar tanaman [4]. Selain itu, pemetaan skala besar dapat lebih efektif mengidentifikasi kualitas tanah serta dampaknya terhadap pertanian dan ketersediaan air tanah.

Pemetaan Kandungan Air Tanah (KAT) di area pertanian maupun perkebunan menjadi suatu keperluan dalam menciptakan ekosistem yang presisi. Penentuan kandungan air di dalam tanah dapat dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu secara langsung dan tidak langsung. Metode gravimetri seringkali menjadi pilihan utama dalam pengukuran langsung [5]. Metode gravimetri terbatas pada daerah yang luas atau skala besar karena memerlukan pengambilan sampel tanah dari berbagai lokasi, yang mengharuskan penggunaan waktu dan tenaga yang cukup signifikan. Metode lain seperti sensor *soil moisture* umumnya juga digunakan dalam skala kecil karena sensor ini memiliki keterbatasan dalam jangkauan luas yang memerlukan banyak sensor untuk lahan berskala besar. Oleh karena itu, di wilayah skala besar, metode pemetaan tidak langsung atau jarak jauh mulai dikembangkan untuk memperkirakan karakteristik tanah [6]. Salah satu pendekatan dalam pengukuran kadar air tanah secara tidak langsung adalah dengan menggunakan sensor gelombang yang mengandalkan karakteristik

listrik dari tanah [7]. Oleh karena itu, perlu dikembangkan metode yang lebih efisien dan canggih guna mencapai pemetaan air tanah yang akurat dengan cakupan yang lebih luas.

1.1.2 Analisa Masalah

1.1.2.1 Aspek Teknologi

Masalah utama dalam melakukan pemetaan KAT muncul karena metode pengukuran secara langsung yang sudah ada kurang efisien dalam melakukan pemetaan KAT pada skala besar. Penggunaan metode gravimetri merupakan pilihan yang paling akurat dalam melakukan pengukuran KAT, namun metode ini membutuhkan tenaga dan waktu yang lebih untuk dilakukan pada pertanian maupun perkebunan pada skala besar. Pengukuran tanah menggunakan sensor soil moisture merupakan salah satu metode yang praktis dan efektif pada skala kecil. Namun, sensor tersebut kurang efektif dikarenakan membutuhkan lebih banyak sensor yang perlu dipasang untuk melakukan pemetaan KAT pada skala besar.

Selain itu, pemetaan KAT membutuhkan wahana gerak yang dapat dikendalikan dari jarak jauh, serta mampu bergerak dan beroperasi secara efektif di berbagai kondisi tanah. Hal ini penting untuk memastikan bahwa pemetaan dapat dilakukan dengan efisien di berbagai jenis lahan. Proses pengukuran, pengolahan data hingga pemetaan KAT juga cukup kompleks dan memerlukan waktu yang lama. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem otomatisasi yang dapat menghubungkan seluruh proses mulai dari pengambilan data, pengolahan, hingga pemetaan KAT. Dengan adanya sistem otomatisasi ini, diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada metode manual yang memakan waktu dan tenaga.

1.1.2.2 Aspek Agrikultur

KAT berpengaruh pada kelembaban tanah yang tepat diperlukan untuk mendukung perkecambahan benih secara optimal dan untuk memastikan bahwa tanaman dapat menyerap nutrisi dengan baik. Selain itu, aktivitas mikroba yang menguraikan bahan organik tanah sangat bergantung pada KAT, yang juga memengaruhi transformasi hara dalam tanah sehingga tersedia bagi tanaman. Dengan memetakan KAT, petani dapat mengoptimalkan volume dan jadwal irigasi serta nutrisi tanaman, menghindari kekurangan atau kelebihan air yang dapat merusak tanaman. KAT yang tepat juga membantu dalam mengontrol laju penguraian bahan organik di tanah, memengaruhi laju respirasi tanah, dan penyerapan karbon, yang penting dalam konteks perubahan iklim dan keberlanjutan lingkungan. Oleh karena itu, pengukuran dan pemetaan KAT sangat penting bagi petani dan peneliti untuk membuat keputusan yang lebih baik dalam manajemen pertanian, meningkatkan efisiensi penggunaan air dan nutrisi, serta menjaga kesehatan tanah dan tanaman.

1.1.3 Tujuan Capstone

Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat sensor yang mampu mendeteksi KAT secara tidak langsung. Alat tersebut dibantu dengan robot mobil yang dilengkapi dengan *Software* untuk memetakan Kandungan Air Tanah (KAT) dalam skala besar dan otomatis, terutama di area lahan pertanian dan perkebunan. Metode pemetaan yang sudah ada belum mencapai tingkat efisiensi yang diharapkan untuk situasi ini. Oleh karena itu, solusi yang diusulkan adalah memanfaatkan teknologi sensor yang dapat mengukur KAT secara tidak langsung sebagai alat utama untuk pemetaan. Oleh karena itu, alat yang akan dirancang diharapkan dapat membantu pengukuran dan pemetaan KAT bagi petani dan peneliti untuk membuat keputusan yang lebih baik dalam manajemen pertanian, meningkatkan efisiensi penggunaan air dan nutrisi, serta menjaga kesehatan tanah dan tanaman.

1.2 Analisa Solusi yang Ada

Beberapa solusi terkait pemetaan Kandungan Air Tanah (KAT), diantaranya yaitu pemetaan KAT menggunakan gravimetri, sensor *soil moisture*, dan GPR. Metode gravimetri memiliki keunggulan dan kelemahan yang perlu diperhatikan. Keunggulan dari metode ini adalah akurasi hasil pengukuran nilai KAT yang tinggi. Langkah utama dalam proses pengukuran gravimetri adalah menimbang massa tanah dalam keadaan basah, kemudian mengeringkannya menggunakan *microwave*, setelah itu tanah yang dikeringkan dapat ditimbang lagi untuk mendapatkan nilai KAT. Namun, metode gravimetri juga memiliki kelemahan. Salah satu kelemahan dalam pemetaan KAT dengan menggunakan gravimetri adalah membutuhkan waktu yang relatif lama untuk proses pengolahan data, karena tanah harus dipanaskan menggunakan *microwave* agar diperoleh hasil yang tepat. Oleh karena itu, penggunaan metode gravimetri dalam pemetaan KAT juga membutuhkan waktu yang cukup signifikan[8].

Pemetaan KAT melalui penggunaan *Capacitive Soil Moisture Sensor* memiliki keunggulan dan kelemahan yang perlu dipertimbangkan. Kadar air tanah dapat ditentukan dengan mengukur kapasitansi antara dua elektroda yang ditanamkan di dalam tanah. Apabila kelembapan tanah terutama dalam bentuk air bebas (seperti pada tanah berpasir), konstanta dielektrik berbanding lurus dengan kadar air [9]. Salah satu keunggulan utama dari metode ini adalah kemudahan dalam penggunaan sensor. Dengan cara menancapkan sensor ke dalam tanah, nilai KAT dapat langsung terbaca. Namun, metode ini juga memiliki kelemahan yang perlu diperhatikan, yaitu tidak efektif dalam memetakan KAT pada skala besar. Hal ini dikarenakan proses penggunaan yang diharuskan untuk menancapkan sensor ke dalam tanah.

Ground Penetrating Radar (GPR) adalah teknologi geofisika yang memanfaatkan sinyal elektromagnetik untuk mengukur refleksi dari batuan, tanah, atau struktur di bawah permukaan tanah [10]. Radar yang digunakan dalam metode GPR yaitu *Stepped-Frequency Continuous Wave* (SFCW), yaitu sistem radar yang bekerja dengan mengeluarkan sinyal elektromagnetik dalam bentuk pulsa secara kontinu dengan frekuensi yang berbeda-beda. Radar SFCW dapat menentukan jarak suatu target berdasarkan pergeseran fasa dari sinyal yang dipantulkan oleh target dan berpotensi untuk menghasilkan lebar pita frekuensi yang lebih luas [11]. Kemampuan GPR menggunakan SFCW dalam menilai KAT di sektor pertanian dan perkebunan memiliki potensi besar untuk mengatasi kesenjangan dalam pemetaan tanah secara konvensional, karena GPR mampu memberikan informasi detail mengenai aliran air tanah di zona vadose dan akuifer serta SFCW lebih tahan terhadap gangguan dari sumber radio eksternal [12], [13].

Metode pengukuran dan pemetaan KAT sangat berpengaruh pada manajemen pertanian bagi petani. Akan tetapi saat ini proses pengukuran dan pemetaan KAT masih cukup sulit dilakukan karena prosesnya yang cukup panjang. Berdasarkan permasalahan yang terjadi, maka penelitian ini akan membuat alat yang dilengkapi dengan *software* menggunakan teknologi GPR dengan sistem radar SFCW untuk pemetaan KAT pada skala yang besar dan *real-time*. Penelitian ini diharapkan akan memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan produktivitas sektor pertanian dan perkebunan melalui pengelolaan sumber daya air tanah yang lebih efisien dan berkelanjutan.