

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 latar Belakang

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq*) merupakan komoditas perkebunan yang memegang peranan strategis dalam pembangunan ekonomi Indonesia. Dalam siklus budidaya, fase pembibitan (*nursery*) adalah tahap krusial yang menentukan kualitas tanaman di masa depan. Keberhasilan pembibitan sangat bergantung pada kemampuan sistem perakaran bibit dalam menyerap ketersediaan air dan unsur hara dari media tanam. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa aplikasi pupuk hayati seperti mikoriza sejak fase pembibitan mampu bersimbiosis dengan akar kelapa sawit untuk meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi. Mikoriza berperan layaknya pompa dan pipa hidup yang membantu tanaman menyerap air dan unsur hara dari area yang tidak terjangkau oleh rambut akar, sekaligus melindungi tanaman dari cekaman lingkungan. Lebih lanjut, pemberian dosis mikoriza yang tepat terbukti secara nyata mampu memperbaiki kinerja akar dalam menyediakan unsur hara esensial, yang berujung pada peningkatan pertumbuhan *vegetatif* bibit secara signifikan [1].

Salah satu metode pemupukan yang efektif pada fase ini adalah penggunaan pupuk organik cair, seperti pemanfaatan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (LCPKS). Selain nutrisinya lebih mudah diserap oleh akar dibandingkan pupuk padat, pupuk organik cair terbukti mampu memperbaiki sifat fisik media tanam, merangsang aktivitas mikroba, dan mengoptimalkan ketersediaan unsur hara esensial secara sinergis [2]. Selain itu, pemanfaatan nutrisi alternatif berupa pupuk organik cair seperti *eco enzyme* terbukti sangat efektif menyuplai unsur hara secara mandiri. Konsentrasi *eco enzyme* yang tepat mampu secara signifikan meningkatkan pembentukan klorofil dan pertumbuhan *vegetatif* bibit,

menjadikannya solusi ideal untuk mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia.[3] .

Namun, efisiensi penyerapan nutrisi oleh bibit kelapa sawit sangat dipengaruhi oleh derajat keasaman (pH) tanah. Jika pH tanah tidak ideal (terlalu asam), unsur hara makro akan terikat dan tidak tersedia bagi tanaman. Masalah yang sering terjadi di lapangan adalah petani masih mengandalkan metode manual dalam pemeliharaan bibit. Metode konvensional ini seringkali menyebabkan proses penyiraman dan pemupukan menjadi tidak teratur, yang berpotensi menyebabkan inefisiensi tenaga kerja dan kegagalan pertumbuhan bibit akibat kurangnya kontrol terhadap kondisi lingkungan [4]. Selain nutrisi anorganik, pemanfaatan kombinasi limbah industri kelapa sawit berupa sludge dan limbah organik cair seperti Pupuk Organik Cair (POC) kulit pisang telah terbukti secara signifikan mampu meningkatkan tinggi tanaman serta bobot kering bibit pada *fase pre-nursery*. Penggunaan nutrisi cair berbasis limbah ini dinilai lebih unggul karena memungkinkan akar tanaman menyerap unsur hara dengan lebih cepat dan efisien dibandingkan metode pemupukan biasa. Oleh karena itu, penerapan pemupukan organik cair yang teratur dan konsisten menjadi langkah strategis untuk meningkatkan produktivitas serta kualitas bibit kelapa sawit secara berkelanjutan [5].

Selain pemanfaatan limbah organik, limbah hasil pembakaran seperti pupuk cair FABA (*Fly Ash Bottom Ash*) batubara juga menunjukkan potensi besar sebagai nutrisi alternatif. FABA mengandung berbagai unsur hara esensial yang mampu memperbaiki sifat fisik maupun kimia tanah. Penelitian ini membuktikan bahwa aplikasi pupuk cair FABA batubara dengan konsentrasi yang tepat (200 ml/L) secara nyata dapat mengoptimalkan pertumbuhan vegetatif bibit kelapa sawit di *fase pre-nursery*, khususnya pada peningkatan jumlah daun, tingkat kepekatan warna daun, hingga bobot tajuk [6]. Serupa dengan hal tersebut, penelitian lain mengembangkan monitoring pH berbasis IoT dengan sumber daya mandiri (*solar cell*) untuk memantau kondisi tanah melalui

aplikasi *mobile*, namun juga terbatas pada fungsi monitoring tanpa aktuator untuk penanganan masalah secara otomatis [7].

Di sisi lain, terdapat penelitian yang berfokus pada pengendalian otomatis. Sistem ini merancang kendali penyiraman dan pemupukan otomatis berbasis mikrokontroler yang bekerja jika pH tanah terbaca kurang dari 5, namun sistem ini tidak memiliki fitur pemantauan jarak jauh berbasis IoT [8]. Sementara itu, Attirmidzi & Darmawan telah berhasil membuat alat kontrol dan monitoring yang komprehensif mencakup penyiraman, pemupukan, dan pestisida berbasis IoT [9]. Namun, tantangan utama dalam sistem otomatisasi adalah akurasi pembacaan sensor. Penelitian Mariyadi menunjukkan bahwa dengan perancangan dan kalibrasi alat ukur yang tepat, tingkat akurasi pembacaan pH dapat ditingkatkan secara signifikan untuk meminimalkan kesalahan (*error*) data [10].

. Selain aspek teknologi kontrol dan akurasi sensor, pemenuhan nutrisi melalui ketepatan takaran pupuk cair juga merupakan faktor agronomis yang sangat krusial. Penelitian terbaru membuktikan bahwa pemberian konsentrasi pupuk cair dengan takaran yang tepat mampu secara signifikan meningkatkan pertumbuhan bibit kelapa sawit di fase pembibitan awal. Konsentrasi pupuk cair yang spesifik terbukti efektif memaksimalkan jumlah daun, kepekatan warna daun, hingga bobot tajuk karena mampu menyuplai unsur hara penting yang berperan langsung dalam proses metabolisme dan pembentukan zat hijau daun (*klorofil*). Hal ini menegaskan perlunya sebuah sistem yang tidak hanya memantau secara jarak jauh, tetapi juga mampu memberikan kepastian dan konsistensi takaran pemupukan cair secara presisi guna mengoptimalkan pertumbuhan vegetatif bibit [11].

presisi Dukungan terhadap pentingnya presisi pemupukan ini diperkuat oleh riset terbaru yang membuktikan bahwa ketepatan dosis pemupukan berpengaruh nyata terhadap tinggi bibit kelapa sawit. Sebaliknya, kegagalan dalam mengelola takaran pemupukan dapat mengakibatkan defisiensi unsur hara yang berujung pada pertumbuhan bibit yang kerdil, pelepah yang memendek hingga

perkembangan daun yang terhambat [12]. Selain takaran nutrisi, kondisi media tumbuh memiliki peran vital yang berpengaruh langsung pada perkembangan akar bibit kelapa sawit dalam proses pembibitan. Untuk mendapatkan pertumbuhan bibit yang optimal, kondisi media tanam harus senantiasa diciptakan sedemikian rupa agar dapat mendukung ketersediaan unsur hara, baik mikro maupun makro. Faktor air di dalam media tanam juga menjadi penentu utama kualitas bibit; jika terjadi kekurangan air, bibit kelapa sawit dipastikan tidak dapat tumbuh dengan baik. Lebih lanjut, karakteristik fisik media tanam menentukan kemampuannya dalam mengikat air, yang pada gilirannya berfungsi agar pupuk yang disalurkan tidak mudah tercuci atau terbuang sia-sia. Rangkaian fakta ini semakin mengukuhkan bahwa sistem penyiraman dan pemupukan otomatis harus dibarengi dengan pemantauan kondisi tanah secara terus-menerus, sehingga stabilitas nutrisi dan kelembapan media tanam tetap terjaga[13]

Selain kondisi fisik media tanam, pemilihan wujud pupuk juga krusial. Penggunaan pupuk kimia padat secara terus-menerus dapat mengeraskan struktur tanah dan menurunkan kesuburannya. Sebagai solusi, aplikasi pupuk cair (POC) lebih efektif karena mampu menyuplai unsur hara secara cepat dan meminimalisir risiko pencucian. Penelitian Dari Fathurrahman membuktikan bahwa pupuk cair secara signifikan meningkatkan pertumbuhan vegetatif bibit kelapa sawit—seperti bobot tajuk dan diameter batang—tanpa terkendala perbedaan jenis tanah [14]. Melengkapi keunggulan pada bagian tajuk dan batang, aplikasi pupuk cair berbahan organik juga memberikan dampak vital terhadap perkembangan sistem perakaran dan perbaikan sifat kimia media tanam. Riset terbaru dari Pratama membuktikan bahwa pemberian pupuk organik cair (seperti *bioslurry*) secara nyata mampu merangsang perpanjangan akar bibit kelapa sawit karena tingginya kandungan nutrisi serta keberadaan hormon pertumbuhan esensial seperti auksin dan sitokinin. Lebih dari itu, pupuk organik cair jenis ini terbukti memiliki sifat amelioran yang mampu menetralkan pH tanah yang masam, sehingga unsur hara yang sebelumnya terikat menjadi lebih tersedia dan mudah diserap oleh tanaman [15]. Fakta ini semakin

memperkuat alasan bahwa sistem kendali pemupukan cair otomatis sangat krusial; selain memastikan pasokan nutrisi yang cepat diserap, sistem ini secara holistik bekerja untuk menstabilkan tingkat keasaman tanah sekaligus memperkuat fondasi perakaran bibit sejak fase awal.

Berdasarkan analisis terhadap penelitian-penelitian tersebut, terdapat celah pengembangan untuk menggabungkan keunggulan sistem monitoring berbasis *Website* yang mampu menyimpan riwayat data secara terstruktur dengan mekanisme kendali otomatis yang presisi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun "Sistem Monitoring pH Tanah dan Pemupukan Cair Otomatis Pada Pembibitan Kelapa Sawit Berbasis IoT". Sistem ini dirancang tidak hanya untuk memantau kondisi pH secara *real-time* melalui *Website* dan menyimpan riwayat data ke dalam *database*, tetapi juga mampu melakukan eksekusi pemupukan cair secara otomatis ketika kondisi tanah terdeteksi asam. Dengan adanya integrasi ini, diharapkan proses pemeliharaan bibit kelapa sawit menjadi lebih presisi, efisien dalam penggunaan pupuk, serta memudahkan petani dalam mengevaluasi riwayat kesehatan tanah.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, permasalahan utama dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang bangun perangkat keras (*hardware*) sistem monitoring yang mampu mengakuisisi data kadar keasaman (pH) tanah secara presisi dan *real-time* pada pembibitan kelapa sawit menggunakan mikrokontroler *NodeMCU ESP-32* dan sensor pH analog?
2. Bagaimana menerapkan mekanisme kendali otomatis pada pompa pemupukan cair yang terintegrasi dengan sensor pH agar dapat melakukan pemupukan secara otomatis saat kondisi tanah terdeteksi asam ($\text{pH} < 6,5$)?
3. Bagaimana membangun antarmuka berbasis *website* yang terhubung dengan *database MySQL* untuk memvisualisasikan data monitoring dan mengontrol sistem dari jarak jauh guna meningkatkan efisiensi pemeliharaan bibit?

1.3 Batasan Masalah

Agar penyusunan laporan Tugas Akhir ini lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan utama, maka penulis menetapkan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Pengukuran parameter tanah dibatasi pada derajat keasaman (pH) menggunakan sensor pH tanah tipe analog, di mana akurasi pembacaan sangat bergantung pada proses kalibrasi yang tepat
2. Aksi pengendalian otomatis dibatasi pada pengaktifan pompa pupuk cair saja. Pompa akan aktif secara otomatis apabila sensor mendeteksi kondisi tanah bersifat asam dengan nilai pH di bawah 6,5
3. Pengujian dilakukan pada bibit kelapa sawit fase Main Nursery (umur 3–5 bulan) dalam skala purwarupa (*prototype*).

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian dan pembuatan Tugas Akhir ini adalah:

1. Merancang Merancang dan membangun perangkat keras (*hardware*) sistem monitoring yang mampu mengakuisisi data kadar keasaman (pH) tanah secara *real-time* pada pembibitan kelapa sawit menggunakan mikrokontroler *NodeMCU ESP-32* dan sensor pH analog.
2. Menerapkan mekanisme kendali otomatis pada pompa pupuk cair yang terintegrasi dengan sensor pH, di mana sistem akan mengaktifkan pompa secara otomatis untuk melakukan pemupukan saat kondisi tanah terdeteksi asam dengan nilai pH di bawah 5,5.
3. Membangun antarmuka berbasis *website* yang terhubung dengan *database MySQL* untuk memvisualisasikan data monitoring kondisi tanah serta mengontrol sistem pemupukan dari jarak jauh melalui jaringan internet guna meningkatkan efisiensi pemeliharaan bibit. *browser*.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat yang diharapkan dari penulisan dan pembuatan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Efisiensi Tenaga Kerja dan Waktu: Sistem ini menggantikan proses pengecekan dan pemupukan manual dengan mekanisme otomatis, sehingga petani tidak perlu memantau kondisi tanah secara fisik setiap saat dan proses pemupukan dapat berjalan tepat waktu saat kondisi tanah membutuhkan penanganan.
2. Pemantauan Jarak Jauh yang Fleksibel: Dengan adanya antarmuka *website*, petani dapat memantau kondisi derajat keasaman (pH) tanah pada area pembibitan secara *real-time* dari mana saja tanpa terbatas oleh jarak, selama terhubung dengan jaringan internet.
3. Akurasi Tindakan Pemupukan: Sistem kendali otomatis memastikan pemberian pupuk cair hanya dilakukan ketika kondisi tanah benar-benar terdeteksi asam ($\text{pH} < 6,65$). Hal ini meminimalisir kesalahan manusia (*human error*) dalam menakar kebutuhan tanaman dan mencegah pemborosan pupuk.
4. Optimalisasi Pertumbuhan Bibit: Dengan menjaga kadar pH tanah tetap stabil di atas ambang batas 6,65 sistem ini membantu memastikan unsur hara dalam tanah dapat terserap secara optimal oleh akar, sehingga risiko gangguan pertumbuhan akibat tanah masam dapat dihindari.
5. Evaluasi Berbasis Data: Tersedianya fitur penyimpanan riwayat data (*history*) pada *database* memungkinkan petani untuk melihat grafik perkembangan kondisi tanah dari waktu ke waktu.