



Tersedia secara online di <http://ojs.unik-kediri.ac.id/index.php/jurmatris/index>

JURMATIS

Jurnal Manajemen Teknologi dan Teknik Industri



Inovasi Penyiraman Bibit Pinus Berbasis Kelembaban Tanah Menggunakan *Microcontroller* Berbasis Arduino Untuk Meminimalisir Kematian Bibit (Studi Kasus PT.XYZ)

Danang Setya Putra^{*1}, Rindra Yusianto²

512202101555@mhs.dinus.ac.id^{*1}, rindra@dsn.dinus.ac.id²

^{1,2}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Dian Nuswantoro

Informasi Artikel

Riwayat Artikel :

Received : 2 – Agustus - 2025

Revised : 8 – Agustus - 2025

Accepted : 14 – Agustus - 2025

Keywords :

Automatic Watering,
Humidity, Pinus Merkusii,
Seedling Mortality

Abstract

Irregular watering at the nursery stage is often the cause of death of Pinus merkusii seedlings. This study aims to design and test an Arduino-based automatic watering system with a soil moisture sensor to maintain optimal humidity in the polybag planting medium of pine seedlings. The study was conducted through an experimental method with direct testing using seedling samples. The system is designed to activate the water pump when soil moisture drops below 60% and stop watering when humidity reaches 70%, with real-time monitoring via sensors. Humidity data was taken every 1 hour for 10 hours of testing. The test results showed that the system was able to maintain soil moisture within the ideal range, provide the right watering response, and was effective in reducing the burden of labor. The recommendation from this study is the development of a system using Arduino as a controller to optimize seedling watering more efficiently, evenly, and measurably in order to minimize seedling mortality.

Abstrak

Penyiraman yang tidak teratur pada tahap persemaian sering menjadi penyebab kematian bibit Pinus *merkusii*, Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan menguji sistem penyiraman otomatis berbasis Arduino dengan sensor kelembaban tanah untuk menjaga kelembaban optimal pada media tanam *polybag* bibit pinus. Penelitian dilakukan melalui metode eksperimen dengan pengujian langsung menggunakan sampel bibit. Sistem dirancang untuk mengaktifkan pompa air ketika kelembaban tanah turun di bawah 60% dan berhenti menyiram saat kelembaban mencapai 70%, dengan pemantauan waktu nyata melalui sensor. Data kelembaban diambil setiap 1 jam selama 10 jam pengujian. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kelembaban tanah dalam rentang ideal, memberikan respon penyiraman yang tepat, serta efektif dalam mengurangi beban tenaga kerja. Rekomendasi dari penelitian ini adalah pengembangan sistem dengan menggunakan arduino sebagai *controller* untuk mengoptimalkan penyiraman bibit secara lebih efisien, merata, dan terukur agar meminimalisir kematian bibit.

Untuk melakukan sitasi pada penelitian ini dengan format:

D. S. Putra and R. Yusianto, "Inovasi Penyiraman Bibit Pinus Berbasis Kelembaban Tanah Menggunakan Microcontroller Berbasis Arduino Untuk Meminimalisir Kematian Bibit (Studi Kasus PT.XYZ)," *JURMATIS (Jurnal Manaj. Teknol. dan Tek. Ind.*, vol. 7, no. 2, pp. 126–138, 2025.

1. Pendahuluan

Indonesia, sebagai negara dengan keanekaragaman hayati tinggi dan luas lahan hutan tropis yang signifikan, memiliki peranan strategis dalam menjaga keseimbangan ekologis global. Menurut data *World Bank*, persentase hutan terhadap total luas daratan di Indonesia pada tahun 2022 mencapai 48,0 %. Angka ini menunjukkan bahwa hampir setengah wilayah negara masih tertutup oleh hutan, mencerminkan potensi besar dalam habitat alami maupun fungsi lingkungan seperti penyerapan karbon, konservasi keanekaragaman hayati, dan regulasi siklus air [1]. Data Badan Pusat Statistik menunjukkan bahwa luas kawasan hutan dan konservasi perairan Indonesia pada periode 2017–2021 relatif stabil, dengan total mencapai lebih dari 27 juta hektar. Angka ini mencerminkan komitmen nasional terhadap perlindungan ekosistem. Namun, keberhasilan menjaga tutupan hutan sangat bergantung pada efektivitas tahap persemaian bibit, termasuk Pinus *merkusii*. Penyiraman yang konsisten dan terukur pada tahap ini menjadi kunci keberhasilan reforestasi. Sistem penyiraman otomatis berbasis Arduino dan sensor kelembaban tanah dapat mendukung upaya tersebut secara efisien, sehingga sejalan dengan target konservasi nasional [2].

Perusahaan XYZ berperan penting dalam pengelolaan hutan rakyat di Indonesia, khususnya dalam menjaga kelestarian dan keberlanjutan hutan produksi. Komoditas utama ialah pohon pinus yang ditanam pada tanah hasil pelapukan batu bercampur dengan sisa-sisa bahan organik [3]. Selain itu di dalam tanah terdapat pula udara dan air [3], kesuburan tanah sangat ditentukan oleh ketersediaan dan jumlah air dan hara yang ada di dalam tanah [4], kadar air merupakan persentase kandungan air suatu bahan yang dapat dinyatakan berdasarkan berat basah atau berdasarkan berat kering [5], Semakin tinggi kadar airnya maka bibit akan semakin rusak karena air dan bibit mengalami kematian. Budidaya komoditi pertanian khususnya tanaman keras yang bersifat menguntungkan telah mempengaruhi arah kebijakan nasional untuk membangun industri agribisnis yang bertitik tolak pada konversi lahan yang tidak terkontrol. Satu diantara industri tersebut adalah penghasil getah pinus yang dihasilkan dari hutan-hutan pinus (Pinus merkussii) [6]. Namun, tantangan dalam pembibitan pinus sering kali menghambat pertumbuhan optimal bibit, seperti masalah kekurangan air, yang dapat mempengaruhi produktivitas tanaman di masa depan.

Penyiraman tanaman merupakan suatu kegiatan yang perlu diperhatikan dalam melakukan pemeliharaan tanaman, dikarenakan tanaman memerlukan asupan air yang cukup untuk melakukan fotosintesis dalam memperoleh kebutuhannya untuk tumbuh dan berkembang. Salah satu faktor yang mempengaruhi pada perkembangan tanaman yaitu penyiraman yang dilakukan hampir setiap hari oleh para petani [7]. Proses penyiraman ini

dilakukan agar bibit tanaman mendapatkan nutrisi yang cukup dari air [8]. Penyiraman tanaman harus dilakukan dengan tepat waktu sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal. Hal ini dibutuhkan suatu penerapan sistem yang dapat mengatur penyiraman tanaman dalam kondisi yang tepat, dan juga mengurangi beban kerja manusia untuk penyiraman secara konvensional [9]. Maka dari itu sistem penyiraman otomatis diperlukan untuk penyiraman tanaman pinus. Hal ini guna mengoptimalkan kehidupan atau pertumbuhan dan meningkatkan hasil panen pinus [10].

Pinus merkusii dikenal sebagai pinus Sumatera, merupakan satu-satunya spesies pinus asli Indonesia yang tersebar alami di wilayah Aceh, Tapanuli, dan Kerinci di Pulau Sumatera. Sebagai jenis pohon pionir dari famili *Pinaceae*, pinus *merkusii* memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap berbagai kondisi lingkungan dan sering digunakan dalam program reboisasi serta penghijauan [11]. Bibit pinus *merkusii* memerlukan kelembaban tanah yang cukup untuk mendukung pertumbuhan akar dan daun yaitu sekitar 60% untuk kelembaban tanah yang digunakan [12]. Pengelolaan kelembaban tanah yang tepat sangat penting dalam budidaya bibit pinus *merkusii*. Pinus *merkusii* Jungh et de Vriese [13] dengan sebaran eko-geografisnya yang luas sebagai satu satunya genera yang didistribusikan dibelahan bumi selatan sedang di konfirmasi bahwa jumlah pohon pinus biasanya bertambah banyak, terutama di daerah terganggu di daerah tropis dengan suhu tahunan 21°C sampai 28°C [12]. Pinus *merkusii* memiliki kemampuan adaptasi yang tinggi terhadap berbagai kondisi lingkungan dan sering digunakan dalam program reboisasi serta penghijauan [11]. Tanaman ini memiliki karakteristik, manfaat, dan khasiat. Populasinya meningkatkan pendapatan dari penyadapan resin dan 61% dilihat dari sisi nilai ekonomi dan memainkan peranan ekologis melalui siklus air [12]. Kelembaban 64% dapat ditemukan 60 Individu Flora Fauna serta pada titik 3 yaitu pada suhu 23,3°C dan kelembaban pinus *merkusii* ideal berkisar antara kelembaban 66% [13].

Berbagai penelitian telah mengeksplorasi pemanfaatan IoT, mikrokontroler, dan kecerdasan buatan untuk otomatisasi dan efisiensi sistem. Sistem hibrida tenaga angin-surya berhasil diotomatisasi dan dimonitor via IoT [14], sedangkan konverter *bidirectional* mikrokontroler mengatur aliran daya panel surya secara otomatis [15]. Dalam pertanian dan penyimpanan pangan, sistem mikrokontroler mengontrol suhu dan kelembaban silo gandum [16], serta penyiraman dan pencahayaan otomatis meningkatkan pertumbuhan tanaman rata-rata 25–30 % [17], sementara pemantauan tanaman berbasis IoT dan web service meningkatkan efisiensi hingga 20–25 % [18]. Pendekatan berbasis GAN menyoroti deteksi

anomali meski tanpa data kuantitatif [19], dan sistem CMOS-IoT meningkatkan sensitivitas deteksi kebocoran radioaktif hingga 92 % [20]. Secara umum, teknologi ini menunjukkan potensi signifikan dalam meningkatkan kinerja sistem, namun sebagian besar penelitian masih terbatas oleh kurangnya data kuantitatif, analisis probabilistik, atau uji signifikan untuk memvalidasi hasil.

Inovasi sistem penyiraman bibit pinus dengan teknologi *sprinkle* berbasis kelembaban tanah di persemaian bertujuan untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi pembibitan. Irigasi sistem curah sering kali disebut juga sebagai *overhead irrigation* atau irigasi sistem *sprinkler*, di mana sistem pipa distribusinya dapat dipindah-pindahkan secara manual [21]. Percikan air dihasilkan dari *nozzle* yang diberikan tekanan melalui pompa ataupun gravitasi sehingga dapat menghasilkan lemparan atau percikan air yang bertekanan dan bisa menjangkau tanaman dengan maksimal [22]. Dengan memanfaatkan *sprinkle*, diharapkan bibit pinus dapat tumbuh lebih sehat dan cepat. Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengatasi kendala yang ada tersebut adalah dengan mendesain sebuah sistem yang bersifat otomatis. Sistem alat ini dapat mendeteksi keadaan tanah yang kering, sehingga secara otomatis akan menyirami tanah kering tersebut menjadi basah. Hasil pengukuran yang didapatkan dari sensor akan didapatkan dua kondisi yaitu tanah yang memiliki kelembaban kering serta tanah yang memiliki kelembaban basah [23]. Teknologi *sprinkle* menggunakan sensor kelembaban sebagai solusi yang mampu mengoptimalkan penyiraman bibit secara lebih efisien, merata, dan terukur memperhatikan kadar air dalam tanah untuk menjaga kesuburan tanah [3].

Studi ini bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, dan menguji sistem penyiraman bibit Pinus berbasis kelembaban tanah menggunakan mikrokontroler Arduino dengan teknologi *sprinkle* otomatis, sehingga dapat menjaga kelembaban optimal media tanam, meningkatkan efektivitas pertumbuhan bibit, serta meminimalkan kematian bibit di tahap persemaian. Dari sisi teori, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi irigasi presisi berbasis IoT dan sensor kelembaban tanah, sekaligus memperluas pemahaman interaksi antara parameter fisik tanah (kadar air, kelembaban) dan pertumbuhan bibit Pinus, yang mengintegrasikan ilmu teknik (otomasi dan mikrokontroler) dengan ilmu lingkungan (konservasi hutan dan pengelolaan ekosistem).

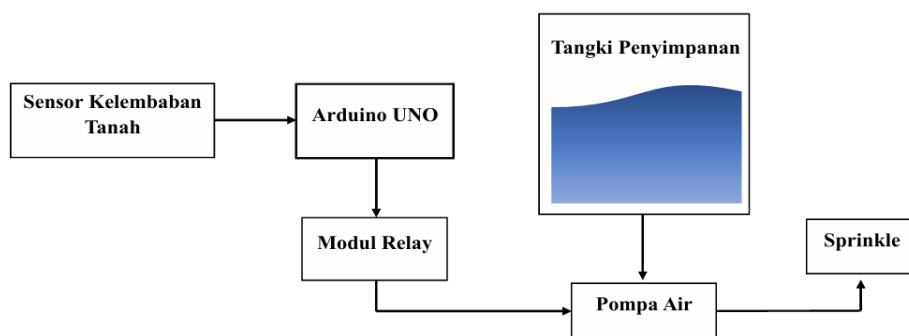
Secara praktis, sistem ini dapat digunakan oleh perusahaan atau petani hutan dalam mengoptimalkan pembibitan Pinus, mengurangi beban kerja manual dalam penyiraman, meminimalkan kematian bibit akibat kelembaban yang tidak terkontrol, dan mendukung keberlanjutan serta produktivitas hutan produksi, sekaligus berpotensi meningkatkan

efisiensi waktu dan biaya operasional. Dengan demikian, penelitian ini menghubungkan aspek teknologi dan lingkungan secara lintas disiplin untuk menghadirkan solusi yang lebih efektif dan berkelanjutan dalam pengelolaan persemaian pinus.

2. Metode Penelitian

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimental yang dilakukan dengan uji coba langsung pada bibit pinus, setelah terlebih dahulu melakukan studi literatur tentang kelembaban tanah pada bibit Pinus dari jurnal terdahulu. Kegiatan pembibitan di persemaian sangat bergantung pada ketersediaan air dan konsistensi penyiraman sesuai kebutuhan tanaman. Salah satu penyebab utama tingginya tingkat kematian bibit adalah penyiraman yang tidak merata atau tidak tepat waktu, baik karena keterbatasan tenaga kerja maupun ketidakcocokan kondisi lingkungan.



Gambar 1. Sistem Kerja Penyiraman Bibit Pinus *Merkusii*
(Sumber: Olah data, 2025)

Sistem yang dirancang merupakan sistem penyiraman otomatis berbasis mikrokontroler Arduino yang terintegrasi dengan sensor kelembaban tanah, bertujuan membantu proses penyiraman bibit pinus secara efisien dan konsisten di lokasi persemaian.

2.2 Populasi dan Sampel

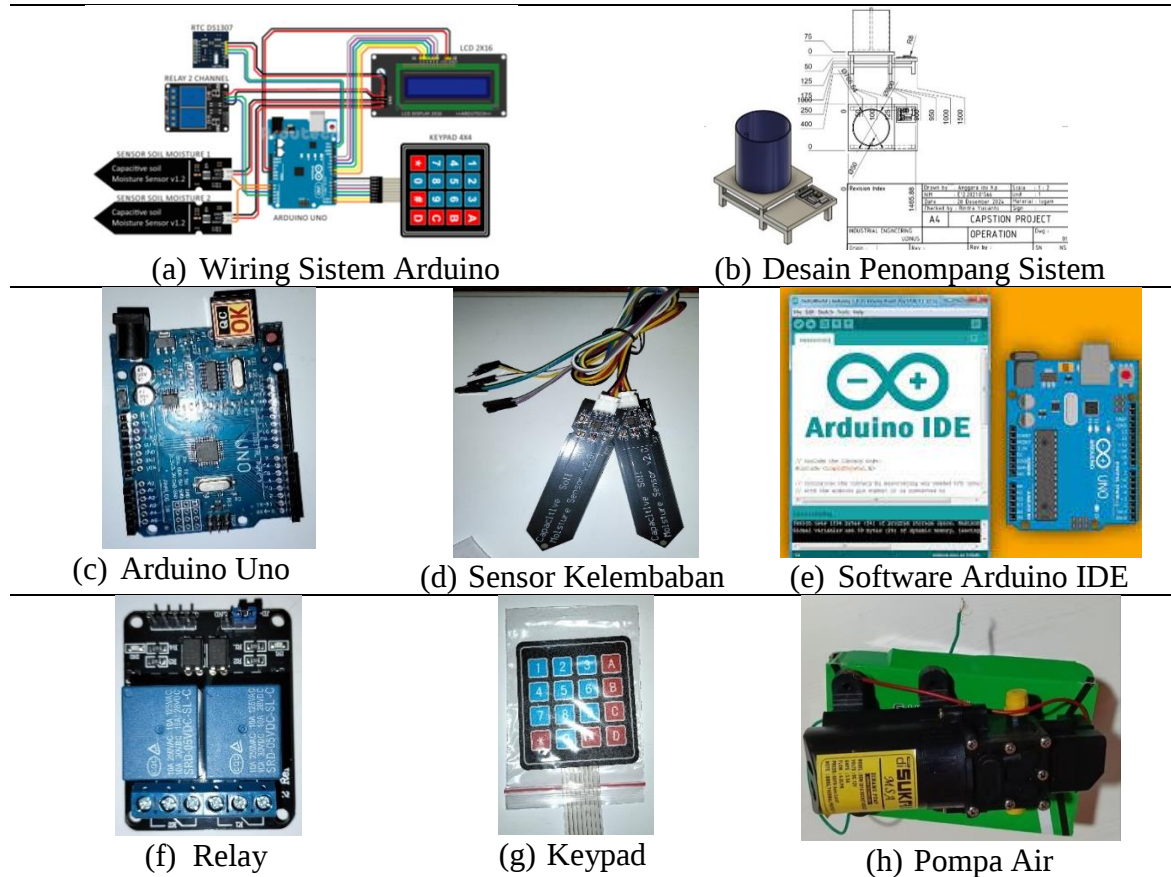
Populasi penelitian ini ialah bibit pinus, sedangkan sampel yang dipakai untuk penelitian ialah pinus *merkusii*. Sampel ini digunakan untuk objek kendali pertumbuhan bibit pinus *merkusii* dan langkah mengurangi dampak kekurangan air selama bertumbuh.

2.3 Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan mencakup langkah merancang Arduino kit dalam sistem penyiraman otomatis ini difokuskan pada penyusunan dan integrasi komponen elektronik agar sistem dapat bekerja secara stabil dan efisien di lingkungan persemaian. Komponen utama yang dirakit meliputi Arduino Uno, modul *relay*, sensor kelembaban tanah, serta kabel *jumper* dan breadboard atau PCB sebagai media perakitan. Arduino Uno berfungsi

sebagai otak sistem yang memproses data dari sensor dan mengontrol pompa air. Modul relay dirancang agar dapat memutus dan menyambung aliran listrik ke pompa sesuai instruksi dari Arduino [24].

Tabel 1. Kebutuhan Sistem



(Sumber: Olah data, 2025)

2.4 Prosedur Penelitian

Studi ini diawali dengan diagram alur sistematis, melalui survei pendahuluan, yang secara langsung mengamati dan mempertimbangkan kondisi riil objek yang akan diteliti lalu menawarkan solusi, merancang sistem, hingga menguji coba kadar air untuk mengurangi kematian bibit. Apabila kadar kelembaban tanah turun di bawah 60%, bibit mulai mengalami stres kekeringan yang bisa memicu pertumbuhan terhambat atau bahkan kematian. Sebaliknya, jika kelembaban melebihi 75%, risiko pembusukan akar meningkat akibat kurangnya oksigen di dalam tanah. Dimulai dari perancangan Arduino kit yang terdiri atas Arduino Uno, modul *relay*, sensor kelembaban tanah, serta media perakitan. Setelah komponen dirakit dan dipasang pada *bracket* dengan alas PVC, dilakukan pengujian pada bibit Pinus *merkusii* selama 10 jam untuk memantau kelembaban tanah pada kisaran 59–70%. Sistem terbukti responsif mengaktifkan pompa saat kelembaban <60% dan menghentikannya pada 70%, memastikan kondisi tanah tetap optimal.

Tabel 2. Pengaturan Kelembaban Tanah

No.	Rentang Kelembaban (%)	Status Tanah	Pengaruh terhadap Bibit Pinus	Tindakan Sistem Otomatis	Rentang Kelembaban (%)
1	< 50%	Sangat kering	Bibit mengalami stres air, pertumbuhan terganggu, risiko mati	Pompa aktif, penyiraman diperlukan	< 50%
2	50% – 59%	Kurang lembab	Bibit mulai kekurangan air, akar melemah	Pompa aktif, penyiraman segera	50% – 59%
3	60% – 70%	Ideal (lembab)	Pertumbuhan optimal, kebutuhan air tercukupi	Sistem standby, tidak menyiram	60% – 70%
4	71% – 75%	Agak basah	Masih aman, tetapi perlu pemantauan	Sistem tidak menyiram	71% – 75%
5	> 75%	Terlalu basah	Risiko pembusukan akar dan gangguan aerasi tanah	Sistem tidak menyiram, periksa drainase	> 75%

(Sumber: Olah data, 2025)

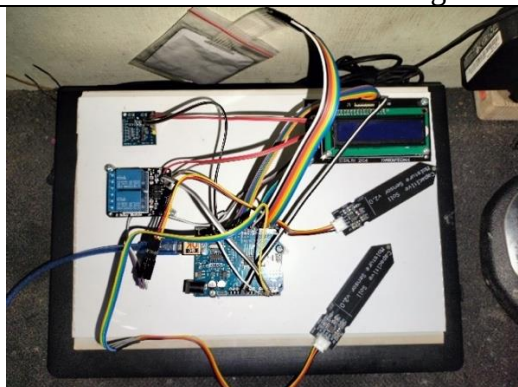
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perancangan Penyiraman Bibit Pinus *Merkusii*

Perancangan Arduino kit dalam sistem penyiraman otomatis ini difokuskan pada penyusunan dan integrasi komponen elektronik agar sistem dapat bekerja secara stabil dan efisien di lingkungan persemaian. Komponen utama yang dirakit meliputi Arduino Uno, modul *relay*, sensor kelembaban tanah, serta kabel *jumper* dan *breadboard* atau PCB sebagai media perakitan. Arduino Uno berfungsi sebagai otak sistem yang memproses data dari sensor dan mengontrol pompa air. Modul relay dirancang agar dapat memutus dan menyambung aliran listrik ke pompa sesuai instruksi dari Arduino. Penempatan dan perakitan komponen pada Arduino kit dirancang sedemikian rupa agar mudah dalam perawatan. Setelah seluruh komponen sistem dan *bracket* selesai dibuat, tahap selanjutnya adalah proses perakitan. Perakitan dimulai dengan penempatan Arduino kit yang telah dirakit sebelumnya. Kit ini diletakkan di meja bagian bawah pada bracket, dengan alas berbahan PVC sebagai pelindung dari kelembaban tanah dan cipratan air. Alas PVC juga berfungsi untuk meminimalkan getaran serta memberi kestabilan pada posisi Arduino dan komponen elektronik lainnya seperti modul *relay* dan kabel *jumper*. Pengujian sistem penyiraman otomatis berbasis Arduino dilakukan pada bibit *Pinus merkusii* untuk memastikan sistem mampu menjaga kelembaban tanah dalam kisaran optimal 60%–70%. Sistem menggunakan adaptor 12V sebagai sumber daya, dengan sensor yang terus

memantau kelembaban dan mengirimkan data ke Arduino. Jika kelembaban turun di bawah 60%, pompa air otomatis aktif dan berhenti saat mencapai 70%. Pengujian selama 10 jam dengan pencatatan tiap 1 jam menunjukkan sistem bekerja dengan baik, dengan respon pompa yang cepat dan kelembaban tanah tetap terjaga dalam batas ideal.

Tabel 3. Perancangan Penyiraman Bibit Pinus *Merkusii*



(a) Hasil Perancangan



(b) Percobaan Sistem Alat

(Sumber: Olah data, 2025)

3.2 Pengujian Hasil Perancangan

Sistem diuji untuk memastikan semua komponen berfungsi dengan baik. hasil pengujian menunjukkan sistem mampu menjaga kelembaban dalam batas ideal dan merespon perubahan kelembaban dengan baik, sehingga efektif untuk penyiraman bibit pinus. Pengujian ke-4, kelembaban tanah turun di bawah batas minimum (60%) sehingga sistem secara otomatis mengaktifkan pompa dan meningkatkan kelembaban kembali ke 70%.

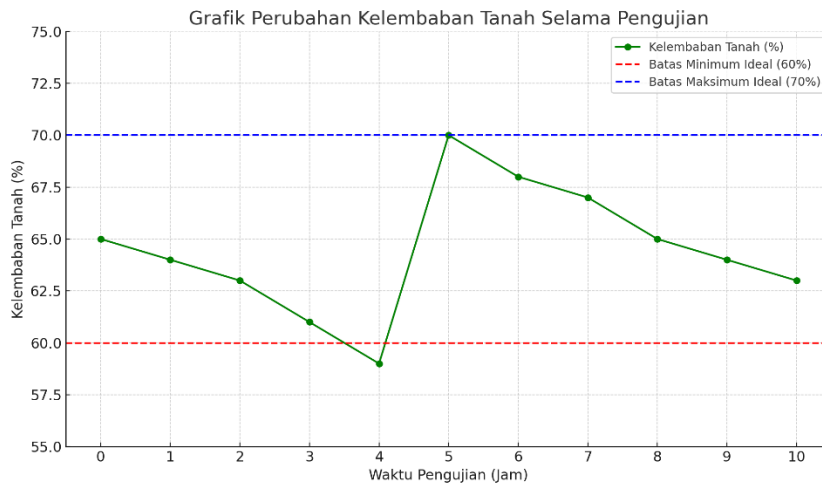
Tabel 4. Hasil Pengujian Sistem Alat

No	Pengujian	Waktu Pengujian	Hasil Pengujian
1	Uji 0	7.00	65
2	Uji 1	8.00	64
3	Uji 2	9.00	63
4	Uji 3	10.00	61
5	Uji 4	7.00	59
6	Uji 5	17.00	70
7	Uji 6	18.00	68
8	Uji 7	7.00	67
9	Uji 8	8.00	65
10	Uji 9	10.00	64
11	Uji 10	17.00	63

(Sumber: Olah data, 2025)

Kelembaban tanah berkisar antara 59% hingga 70%, dengan sistem otomatis mengaktifkan pompa saat kelembaban turun di bawah batas minimum (60%) dan menghentikan penyiraman saat mencapai batas maksimum ideal (70%). Grafik ini

memvisualisasikan bagaimana sistem bekerja untuk menjaga kelembaban tanah untuk pertumbuhan bibit Pinus *merkusii*.



Gambar 2. Perubahan Kelembaban Tanah Selama Pengujian
(Sumber : Olah data, 2025)

Pengujian sistem penyiraman otomatis berbasis Arduino pada bibit Pinus *merkusii* menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga kelembaban tanah dalam kisaran optimal 59%–70%, dengan pompa air otomatis aktif saat kelembaban turun di bawah 60% dan berhenti saat mencapai 70%. Perubahan kelembaban tanah tercatat secara stabil selama 10 jam pengujian, yang menandakan respons sistem yang cepat dan konsisten terhadap kondisi lingkungan. Hal ini sejalan dengan prinsip kerja sistem irigasi otomatis berbasis sensor kelembaban tanah yang dijelaskan oleh beberapa penelitian sebelumnya.

Studi *Design and Implementation of an Arduino-based Automatic Irrigation System* menunjukkan bahwa penggunaan sensor kelembaban tanah yang terintegrasi dengan Arduino memungkinkan pemeliharaan kelembaban tanah secara efisien, mengurangi intervensi manual, dan menjaga kondisi tanah tetap optimal untuk pertumbuhan tanaman [25]. Hal ini serupa dengan temuan penelitian *Automatic Irrigation System Using Soil Moisture Sensor*, di mana sistem irigasi otomatis mampu menyalakan dan mematikan pompa sesuai tingkat kelembaban tanah, sehingga mendukung pertumbuhan tanaman dengan konsisten [26]. Penelitian *Automatic Plant Irrigation System Using Arduino dan Smart Irrigation System Using Soil Moisture Sensor* menekankan efektivitas sistem berbasis Arduino dalam mengatur suplai air secara presisi, yang penting untuk mencegah kekurangan maupun kelebihan air pada tanaman muda [27][28]. Hal ini relevan dengan pengamatan pada bibit Pinus *merkusii*, di mana kelembaban tanah yang terlalu rendah atau tinggi dapat mempengaruhi pertumbuhan dan tingkat kematian bibit. Dengan mengacu pada *Automated Seeding and Irrigation System Using Arduino*, integrasi sensor kelembaban, Arduino, dan

pompa dapat mengurangi kebutuhan tenaga kerja manual dan memastikan penyiraman yang terukur serta merata [29].

Temuan ini mendukung efisiensi operasional dan kesinambungan proses pembibitan di persemaian PT XYZ, sebagaimana yang diamati dalam penelitian ini. Implementasi sistem penyiraman otomatis berbasis Arduino efektif dalam menjaga kelembaban tanah pada kisaran ideal untuk bibit Pinus *merkusii*. Kelebihan sistem ini meliputi respons cepat terhadap perubahan kelembaban, pengurangan beban kerja manual, serta peningkatan konsistensi pertumbuhan bibit. Namun, seperti penelitian terdahulu, sistem ini masih memiliki keterbatasan, yaitu kurangnya pengujian jangka panjang untuk menilai performa terhadap kondisi lingkungan yang bervariasi, dan belum ada analisis kuantitatif probabilistik untuk memprediksi performa sistem dalam skala besar.

4. Kesimpulan

Sistem penyiraman otomatis berbasis Arduino dengan sensor kelembaban tanah berhasil menjaga kelembaban tanah di persemaian bibit Pinus *merkusii* dalam kisaran optimal 60%–70%. Sistem ini secara otomatis mengaktifkan pompa saat kelembaban turun di bawah batas minimum dan menghentikan penyiraman saat mencapai batas maksimum, sehingga memastikan kondisi tanah tetap ideal untuk mendukung pertumbuhan bibit. Dengan menggunakan adaptor 12V yang terhubung ke listrik persemaian, sistem ini dapat dioperasikan dengan mudah dan tidak memerlukan sumber daya tambahan, sekaligus meningkatkan efisiensi penyiraman dan mengurangi beban tenaga kerja manual.

Penelitian ini memperkuat pemahaman tentang integrasi teknologi IoT dan mikrokontroler dalam pengelolaan kelembaban tanah untuk mendukung pertumbuhan tanaman, menghubungkan ilmu teknik (otomasi dan kontrol) dengan ilmu lingkungan (konservasi hutan dan pengelolaan ekosistem). Sistem ini juga menyediakan solusi nyata bagi perusahaan dan petani hutan, khususnya PT XYZ, dalam mengoptimalkan pembibitan Pinus *merkusii*, meminimalkan kematian bibit akibat kekeringan atau kelebihan air, serta mendukung keberlanjutan dan produktivitas hutan produksi.

Daftar Pustaka

- [1] The World Bank, “Forest area (% of land area) – Indonesia.”
- [2] Badan Pusat Statistik (BPS), “Luas Kawasan Hutan dan Kawasan Konservasi Perairan Indonesia Berdasarkan Surat Keputusan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2017–2023.”

- [3] R. N. Kaikatui, “Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno,” vol. 05, no. 02, 2023.
- [4] M. Arifin, N. D. Putri, A. Sandrawati, and R. Harryanto, “Pengaruh Posisi Lereng terhadap Sifat Fisika dan Kimia Tanah pada Inceptisols di Jatinangor,” *SoilREns*, vol. 16, no. 2, pp. 37–44, 2019, doi: 10.24198/soilrens.v16i2.20858.
- [5] D. Arziyah, L. Yusmita, and Ariyetti, “Analisis Mutu Tahu dari Beberapa Produsen Tahu di Kota Padang,” *J. Teknol. Pertan. Andalas*, vol. 23, no. 2, pp. 143–148, 2019.
- [6] A. Pandiangan, B. H. Sihombing, and P. Sinaga, “Produktivitas Penyadapan Getah Pinus di Desa Parhottingan Aek Nauli KPH III Kabupaten Simalungun. (Productivity of Sapp Tap of Pine in Parhottingan Vilage Aek Nauli, KPH III of Humbang Hasundutan District),” *J. Akar*, vol. 1, no. 1, pp. 1–12, 2019.
- [7] S. B. Mursalin, H. Sunardi, and Z. Zulkifli, “Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Berbasis Sensor Kelembaban Tanah Menggunakan Logika Fuzzy,” *J. Ilm. Inform. Glob.*, vol. 11, no. 1, pp. 47–54, 2020, doi: 10.36982/jiig.v11i1.1072.
- [8] D. T. Utomo, A. Baihaqi, H. Asysyauqi, R. Azizissani, A. Haidar, and A. Ash, “Perancangan Sistem Penyiraman Otomatis Pada Greenhouse Guna Meningkatkan Kualitas Bibit Tanaman Anggur (Vitis vinivera) Di Daerah Sidoarjo,” vol. 4, no. 1, pp. 46–50, 2022.
- [9] M. Rante Sampebua, J. K. Wororomi, Supiyanto, R. M. Kmurawak, and Y. Tokoro, “Pelatihan Penerapan Teknologi Iot Penyiraman Otomatis Tanaman Bunga Di Kelurahan Hedam Jayapura,” *Communnity Dev. J.*, vol. 5, no. 1, pp. 2098–2104, 2024.
- [10] Muhammad Echan Hardinata and Nina Paramytha, “Perancangan Alat Otomatis untuk Penyiraman dan Pemupukan Bibit Tanaman Buah,” *Uranus J. Ilm. Tek. Elektro, Sains dan Inform.*, vol. 3, no. 1, pp. 181–188, 2025, doi: 10.61132/uranus.v3i1.683.
- [11] M. K. Sallata, “Pinus : Pinus merkusii,” *Info Tek. EBONI*, vol. 10, no. 2, pp. 85–98, 2013.
- [12] V. Melinda, R. Andini, and L. A. Yanti, “ANALISIS MORFOLOGI PINUS (Pinus merkusii Jungh. et de Vriese) STUDI KASUS: LUT TAWAR DAN LINGE, ACEH TENGAH,” *J. Ilm. Mhs. Pertan.*, vol. 7, no. 2, pp. 796–804, 2022, doi: 10.17969/jimfp.v7i2.20427.
- [13] E. Roziaty and I. aji Utomo, “EKOLOGI POHON PINUS (Pinus merkusii) DI KAWASAN HUTAN GIRIMANIK, DESA SETREN, KECAMATAN SLOGOHIMO, KABUPATEN WONOGIRI, JAWA TENGAH,” *Semin. Nas. Pendidik. Biol. dan Saintek ke-V 2020*, vol. 5, pp. 107–113, 2020.
- [14] U. Yaqub, A. Al-Nasser, and T. Sheltami, “Implementation of a hybrid wind-solar desalination plant from an Internet of Things (IoT) perspective on a network simulation tool,” *Appl. Comput. Informatics*, vol. 15, no. 1, pp. 7–11, 2019, doi: 10.1016/j.aci.2018.03.001.
- [15] Viswanatha and V. S. Reddy, “Microcontroller based bidirectional buck–boost converter for photo-voltaic power plant,” *J. Electr. Syst. Inf. Technol.*, vol. 5, no. 3, pp. 745–758, 2018, doi: 10.1016/j.jesit.2017.04.002.

- [16] M. Mateen, Z. A. Khan, Y. Minli, M. Wenqiu, and A. A. Tola, “Enhancing wheat storage efficiency: A microcontroller-based environment control system for silo,” *Smart Agric. Technol.*, vol. 11, no. February, p. 100865, 2025, doi: 10.1016/j.atech.2025.100865.
- [17] Y. D. Setiawan, W. Hartanto, E. E. Lukas, N. D. B. Julienne, S. Kurniawan, and B. Siswanto, “Smart Plant Watering and Lighting System to Enhance Plant Growth Using Internet of Things,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 227, pp. 966–972, 2023, doi: 10.1016/j.procs.2023.10.604.
- [18] V. Choudhary, P. Guha, G. Pau, and S. Mishra, “An overview of smart agriculture using internet of things (IoT) and web services,” *Environ. Sustain. Indic.*, vol. 26, no. January, p. 100607, 2025, doi: 10.1016/j.indic.2025.100607.
- [19] U. Saeed *et al.*, “Generative adversarial networks-enabled anomaly detection systems: A survey,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 296, no. PB, p. 128978, 2026, doi: 10.1016/j.eswa.2025.128978.
- [20] S. Patel, S. Sutaria, R. Daga, M. Shah, and M. Prajapati, “A systematic study on complementary metal-oxide semiconductor technology (CMOS) and Internet of Things (IOT) for radioactive leakage detection in nuclear plant,” *Nucl. Anal.*, vol. 2, no. 3, p. 100080, 2023, doi: 10.1016/j.nucana.2023.100080.
- [21] Mulyadi, Munawar, Satriananda, T. Fakhrial, and Ismaniar, “Implementasi Sprinkler pada Penyiraman Tanaman Otomatis di Desa Meunasah Kumbang Punteut,” *Proceeding Semin. Nas. Politek. Negeri Lhokseumawe*, vol. 5, no. 1, pp. 46–50, 2021.
- [22] F. Nasrulloh, G. W. Wicaksono, and Z. Sari, “Remote Control Monitoring Simtem Irigasi Sprinkler Berbasis IoT Pada Tanaman Hortikultura,” *J. Repos.*, vol. 2, no. 10, pp. 1349–1358, 2020, doi: 10.22219/repositor.v2i10.1035.
- [23] Y. A. Rozzi, J. Fredricka, and K. Sussolaikah, “KLIK: Kajian Ilmiah Informatika dan Komputer Desain Penyiram Tanaman Otomatis Berbasis Arduino Menggunakan Sensor Kelembaban Tanah,” *KLIK Kaji. Ilm. Inform. dan Komput.*, vol. 3, no. 5, pp. 490–496, 2023.
- [24] Y. Tjandi and S. Kasim, “Electric Control Equipment Based on Arduino Relay,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1244, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1244/1/012028.
- [25] G. Fischer, E. Angiating, and E. N. Oku, “DESIGN AND IMPLEMENTATION OF AN ARDUINO-BASED AUTOMATIC IRRIGATION SYSTEM USING SOIL MOISTURE SENSOR, LCD AND WATER PUMP,” *World J. Eng. Res. Technol. World J. Eng. Res. Technol. WJERT*, vol. 11, no. 6, pp. 47–59, 2025.
- [26] M. Priyadharshini, U. M. Sindhumathi, S. Bhuvaneswari, N. Rajkamal, and K. M. A. Chelvan, “Automatic Irrigation System using Soil Moisture Sensor with Bigdata,” *Int. J. Eng. Trends Technol.*, vol. 67, no. 3, pp. 58–61, 2019, doi: 10.14445/22315381/IJETT-V67I3P210.
- [27] T. Ramakrishnan, M. S. Shameer, A. M. Prasath, R. Hemnath, S. C. Rathinam, and M. Avinasilingam, “Automatic plant irrigation system,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 3221, no. 1, pp. 230–235, 2024, doi: 10.1063/5.0235885.
- [28] D. D. Gabhane, S. S. Gade, A. R. Gadekar, A. V Gade, and P. P. Gabale, “Smart

Irrigation using Soil Moisture Sensor,” *Int. J. Nov. Res. Dev.*, vol. 8, no. 6, pp. 2022–2024, 2023.

- [29] A. Kumar and H. Rajagopal, “Automated Seeding and Irrigation System using Arduino,” *J. Robot. Netw. Artif. Life*, vol. 8, no. 4, pp. 259–262, 2022, doi: 10.2991/jrnal.k.211108.006.