

## PENINGKATAN AKURASI SISTEM PEMANTAUAN SUHU DAN KELEMBAPAN PADA LABORATORIUM PENGUJIAN BENIH TANAMAN MENGGUNAKAN INVERSI REGRESI LINIER

Mochamad Susantok<sup>1</sup>, Agus Urip Ari Wibowo<sup>\*2</sup>, Memen Akbar<sup>3</sup>, Rahul<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Politeknik Caltex Riau, Pekanbaru

Email: <sup>1</sup>santok@pcr.ac.id, <sup>2</sup>agus@pcr.ac.id, <sup>3</sup>memen@pcr.ac.id, <sup>4</sup>rahul20tet@mahasiswa.pcr.ac.id

<sup>\*</sup>Penulis Korespondensi

(Naskah masuk: 26 Agustus 2024, diterima untuk diterbitkan: 11 Februari 2025)

### Abstrak

Laboratorium uji benih memerlukan informasi suhu dan kelembapan ruang untuk menjaga kualitas proses pengujian benih. Saat ini, laboran mencatat parameter lingkungan dua kali sehari pada pukul 9.00 dan 14.00 dengan menggunakan alat ukur terkalibrasi. Namun, metode ini tidak mencakup data di luar jam kerja atau pada hari libur, sehingga tidak memenuhi persyaratan pencatatan kontinu yang diwajibkan oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN). Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT yang mampu mencatat suhu dan kelembapan secara kontinu tanpa keterbatasan waktu serta memastikan akurasi data dengan mekanisme kalibrasi menggunakan metode inversi regresi linier. Sistem ini menampilkan data langsung pada layar OLED, menyimpan data di media microSD, dan mengunggahnya ke lembar kerja daring untuk pemantauan dan analisis lebih lanjut. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi pengukuran sebesar 98% untuk suhu dan 97% untuk kelembapan setelah menggunakan inversi regresi linier dengan menggunakan 15 data. Dengan demikian, sistem ini mampu menggantikan metode pencatatan manual yang terbatas dan memenuhi persyaratan pencatatan kontinu dari KAN.

**Kata kunci:** Laboratorium uji benih, kualitas udara, IoT, inversi regresi linier

## IMPROVING THE ACCURACY OF TEMPERATURE AND HUMIDITY MONITORING SYSTEM IN PLANT SEED TESTING LABORATORY USING LINEAR REGRESSION INVERSION

### Abstract

Seed testing laboratories require temperature and humidity information to maintain the quality of seed testing processes. Currently, laboratory staff record environmental parameters twice daily at 9:00 AM and 2:00 PM using calibrated measuring instruments. However, this method does not cover data outside working hours or during holidays, thus failing to meet the continuous recording requirements mandated by the National Accreditation Committee (KAN). This study aims to develop an IoT-based air quality monitoring system capable of recording temperature and humidity continuously without time constraints while ensuring data accuracy through a calibration mechanism using the linear regression inversion method. The system displays real-time data on an OLED screen, stores data on a microSD card, and uploads it to an online spreadsheet for further monitoring and analysis. The test results show that the system achieves a measurement accuracy of 98% for temperature and 97% for humidity after applying the linear regression inversion method by using 15 data. Thus, the system can replace the limited manual recording method and meet the continuous recording requirements set by the KAN.

**Keywords:** Seed testing laboratory, Air Quality, IoT, Linier Regression Inversion

### 1. PENDAHULUAN

Menurut Kementan, untuk memastikan kualitas benih, langkah penting adalah melakukan pengujian. Penerapan standar spesifikasi peralatan di laboratorium untuk pengujian mutu benih menjadi esensial. Pengujian mutu benih menjadi aspek krusial

dalam memastikan kualitas benih. Salah satu tindakan konkret adalah melakukan pengujian benih sesuai dengan peraturan ISTA (*International Seed Testing Association*), di mana pengujian ini disesuaikan dengan sifat fisik atau fisiologis kelompok benih (Syahrul Yasil Limpo, 2022). Kementan telah mengatur peralatan dan perangkat lunak yang

digunakan dalam proses pengujian dan pengambilan sampel. Oleh karena itu, laboratorium uji benih harus memastikan bahwa kondisi ruang uji laboratorium tetap terjaga pada suhu dan kelembapan tertentu, yang berbeda-beda sesuai dengan karakteristik pengujian yang dilakukan.

Laboratorium uji benih suatu lembaga sertifikasi yaitu Unit Pelaksana Teknis Perbenihan dan Sertifikasi Benih Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura (TPH) Provinsi Riau, merupakan lembaga sertifikasi yang sangat memperhatikan kualitas pengujian komoditas yang diajukan oleh konsumen. Secara nasional benih padi yang bersertifikat adalah 35% (Prasetyo, Wulanjari and Setiani, 2021) dan yang belum bersertifikat atau belum diketahui kualitasnya adalah 65%. Kebutuhan benih yang bersertifikat harus didukung dengan ketersediaan laboratorium uji sertifikasi benih yang berkualitas dan tersebar di seluruh provinsi di Indonesia. Salah satu ukuran kualitas suatu laboratorium yaitu dengan memastikan kondisi ruang laboratorium uji yang terjaga pada suhu dan kelembapan tertentu dan berbeda-beda sesuai karakteristik pengujiannya (Admin, 2022) (Fachruri, Muhidong and Sapsal, 2019). Salah satu indikator standarisasi KAN (Komite Akreditasi Nasional) adalah tercatatnya secara rutin suhu dan kelembapan di ruang laboratorium menggunakan alat ukur dan petugas mencatat dalam suatu file laporan secara rutin. Namun, masalah yang muncul pada cara ini adalah di luar jam kerja yaitu jam 16.00 keatas serta hari libur, petugas tidak mencatatnya secara rutin seperti di hari kerja. Masalah ini menyebabkan tidak terpenuhinya indikator standarisasi ruang laboratorium uji benih, yaitu tidak tercatatnya secara rutin kualitas ruang uji yaitu suhu dan kelembapan.

Oleh karena itu, diperlukan sistem pemantauan suhu dan kelembapan yang andal, otomatis, dan dapat diakses kapan saja. Penerapan teknologi IoT untuk pemantauan jarak jauh telah banyak dibahas dalam penelitian sebelumnya (Purbakawaca and Fauzan, 2022)(Wahyu Siti Ulam Sari, Gigih Priyandoko and Dedi Usman Effendy, 2022), di mana sistem-sistem yang dikembangkan memungkinkan pengumpulan data sensor suhu dan kelembapan secara real-time. Namun, solusi tersebut masih terbatas pada menampilkan data hasil pengukuran sensor tanpa adanya mekanisme untuk meningkatkan akurasi pengukuran. Hal ini menciptakan celah dalam memastikan bahwa data yang dihasilkan sesuai dengan alat referensi terkalibrasi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan suhu dan kelembapan berbasis IoT yang memberikan dua kontribusi utama, yaitu pertama kemudahan akses data setiap saat. Data suhu dan kelembapan dapat diakses secara real-time oleh laboran menggunakan aplikasi *Google Sheets*, memungkinkan pengelolaan data dari perangkat apa pun dengan koneksi internet. Fitur ini memberikan fleksibilitas yang lebih besar bagi laboran dalam

memantau kondisi ruang uji benih kapan saja. Kedua, peningkatan akurasi melalui kalibrasi: Sistem ini menerapkan mekanisme kalibrasi menggunakan tiga model: translasi data, regresi linier, dan inversi regresi linier. Model inversi regresi linier yang dihasilkan dari penelitian ini menunjukkan kemampuan untuk meningkatkan akurasi dengan mengoreksi data sensor terhadap alat referensi terkalibrasi, sebagaimana didukung oleh literatur sebelumnya (Wang and Zhu, 2021; Zheng et al., 2021; Kazi, Filip and Kazi, 2023; Song et al., 2023).

Sistem yang dikembangkan terdiri dari sensor suhu dan kelembapan, mikrokontroler, dan modul Wi-Fi untuk pengiriman data secara otomatis ke server. Data yang terkumpul dapat diakses laboran melalui aplikasi *Google Spreadsheets* serta dianalisis menggunakan model kalibrasi untuk mengurangi bias pengukuran. Metode kalibrasi yang diterapkan tidak hanya mencakup regresi linier yang umum digunakan (Wakchoure et al., 2022)(Rumpa, Ambabunga and Pineng, 2023) tetapi juga mengusulkan inovasi berupa metode inversi regresi linier untuk meningkatkan presisi.

Dengan kemampuan memantau kondisi ruang uji benih secara *real-time*, otomatis, dan akurat, sistem ini tidak hanya memenuhi kebutuhan praktis laboratorium tetapi juga menjawab celah penelitian sebelumnya dalam hal akurasi data IoT. Sistem ini berkontribusi pada peningkatan kualitas manajemen laboratorium uji benih sekaligus pemenuhan standar akreditasi KAN.

## 2. LITERATUR TERKAIT

Literatur terkait yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari kualitas udara, sistem berbasis IoT, uji benih, dan peningkatan akurasi data pengukuran sensor.

### 2.1 Kualitas Udara

Pengujian benih di ruang uji laboratorium atau chamber khusus merupakan tahap kritis dalam memastikan kualitas dan daya tumbuh optimal bibit tanaman. Dalam konteks ini, suhu dan kelembapan memegang peranan vital dalam menentukan hasil pengujian. Sejumlah penelitian sebelumnya telah menyoroti dampak suhu ruang uji terhadap daya tumbuh benih, seperti yang terlihat pada bibit kedelai (Purwanti, 2004) dan tomat (Ray and Bordolui, 2022).

Kualitas udara di ruang uji juga memiliki dampak signifikan, dan oleh karena itu, perlu diatur dan dipantau secara terus-menerus sesuai dengan karakteristik pengujian yang dilakukan. Suatu penelitian sebelumnya (Sá et al., 2022), menggunakan teknologi penginderaan kualitas udara yang terjangkau, menekankan pentingnya memantau kualitas udara dalam berbagai tipe ruang uji. Kualitas udara di ruang uji dapat dipengaruhi oleh campuran

mikroorganisme kompleks, termasuk bakteri, jamur, virus, fragmen biologis, dan racun (Jerome O, 2019).

Dengan berjalannya waktu dan penggunaan berulang ruang uji, penting untuk menjaga pemantauan kualitas udara secara konsisten selama proses pengujian. Upaya pemantauan bukan hanya untuk memahami variabilitas kondisi, tetapi juga untuk mengidentifikasi perubahan dan memastikan bahwa suhu dan kelembapan tetap sesuai dengan persyaratan pengujian.

Selain itu, penyesuaian kondisi ruang saat melakukan pemantauan menjadi aspek krusial dalam memastikan keberlanjutan pengujian. Hal ini memastikan bahwa setiap hasil pengukuran dapat diandalkan dan akurat. Oleh karena itu, sistem pemantauan suhu, kelembapan, dan kualitas udara yang andal sangat mendukung keberhasilan laboratorium uji benih.

Dengan adanya pemantauan secara terus-menerus, laboratorium dapat mengambil langkah-langkah preventif atau korektif sesuai kebutuhan. Ini tidak hanya meningkatkan integritas dan kualitas hasil pengujian benih, tetapi juga membantu dalam menjaga standar mutu dan keandalan proses pengujian secara keseluruhan. Sebagai suatu kesimpulan, pemahaman mendalam dan pengelolaan efektif atas suhu, kelembapan, dan kualitas udara dalam ruang uji benih adalah elemen kunci untuk mencapai hasil pengujian yang konsisten dan dapat dipercaya.

## 2.2 Sistem berbasis IoT

Sistem pemantauan yang menerapkan teknologi IoT membuktikan diri sebagai solusi efektif untuk mengatasi tantangan dalam pencatatan data secara kontinu, baik dalam waktu nyata maupun masa lampau (Kumar Bhoi et al., 2022). Dalam implementasinya, sensor suhu dan kelembapan berfungsi sebagai "things" dalam IoT, mengirimkan data secara waktu nyata dan berkelanjutan ke platform Internet. Pengguna sistem dapat dengan mudah mengakses dan menganalisis data sensor, menghasilkan informasi yang menjadi dasar untuk langkah-langkah tindakan selanjutnya.

Sebagai contoh penerapan nyata, sebuah penelitian tentang kualitas udara dalam ruang (Purbakawaca and Fauzan, 2022), khususnya pada rumah tipe 38, menggunakan sensor suhu, kelembapan, dan pengukuran kadar CO (ppm). Hasil pengukuran kadar CO selama 8 jam menunjukkan nilai sebesar 11 ppm, yang melebihi batas yang telah ditetapkan oleh Peraturan Menteri Kesehatan (PERMENKES) yaitu 9 ppm. Informasi hasil pengukuran ini dapat diakses melalui *Personal Computer* (PC) atau *smartphone* dengan menggunakan aplikasi berbasis web yang terhubung ke Internet. Kemampuan ini memungkinkan pemantauan kualitas udara dalam rumah dari jarak jauh, memberikan fleksibilitas untuk mengawasi kondisi tersebut dari berbagai tempat dan waktu.

Dalam situasi pandemi seperti Covid-19, teknologi IoT juga dimanfaatkan untuk membantu petugas rumah sakit dalam pemantauan kualitas udara di ruang isolasi khusus untuk pasien Covid-19 (Wahyu Siti Ulam Sari, Gigih Priyandoko and Dedi Usman Effendy, 2022). Hal ini memberikan keyakinan kepada petugas rumah sakit terkait kondisi kesehatan ruang bagi pasien yang dirawat. Aplikasi IoT pada lingkungan juga tidak hanya terbatas pada pemantauan kondisi udara dalam ruang, melainkan telah berkembang lebih luas untuk memantau kondisi cuaca di sekitarnya (Holovatyy, 2021).

Pada penelitian ini, arsitektur sistem IoT yang dikembangkan dapat dilihat pada Gambar 1, terdiri dari tiga komponen utama, yaitu sensor node atau things, jaringan IoT, dan infrastruktur awan. Layanan Google *Spreadsheet* digunakan sebagai pusat penyimpanan data secara online yang dapat diakses melalui aplikasi atau secara daring. Sensor node melibatkan sensor-sensor seperti DHT22 (Purbakawaca and Fauzan, 2022), Sharp GP2Y1010AU0F (Wahyu Siti Ulam Sari, Gigih Priyandoko and Dedi Usman Effendy, 2022) (Sá et al., 2022), dan BME280 (Holovatyy, 2021), serta mikrokontroler untuk membaca kondisi lingkungan, seperti suhu dan kelembapan, baik di dalam maupun di luar ruang. Mikrokontroler yang umum digunakan adalah modul ESP-01 ESP8266 dan NodeMCU ESP8266 (Wahyu Siti Ulam Sari, Gigih Priyandoko and Dedi Usman Effendy, 2022) (Sá et al., 2022) (Holovatyy, 2021), yang dilengkapi dengan modul WiFi sebagai antarmuka jaringan IoT.

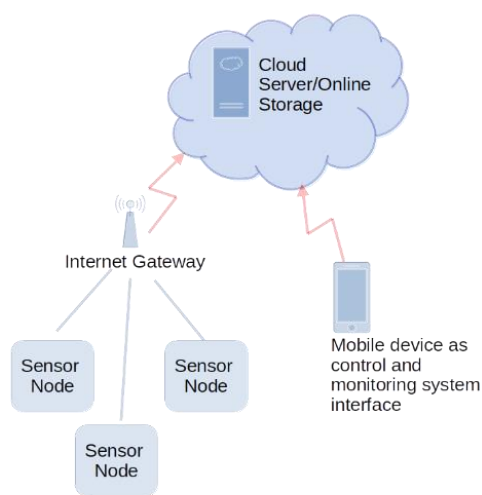
Jaringan IoT yang digunakan adalah jaringan nirkabel WLAN (*Wireless Local Area Network*) dengan protokol TCP/IP. *Wireless router* berperan sebagai *gateway* yang meneruskan data dari sensor *node* ke Internet atau jaringan lain, tempat server aplikasi dan basis data berada. Selain protokol HTTP di atas TCP/IP, protokol MQTT (*Message Queuing Transport Protocol*) juga digunakan dalam jaringan IoT (Holovatyy, 2021) (Choosumrong et al., 2023) (Perdana, Ramadhani and Alinursafa, 2022). MQTT memiliki muatan yang lebih ringan, disebut sebagai *LMP (Lightweight Messaging Protocol)*, sehingga memerlukan sumber daya yang lebih kecil saat mengirimkan data.

Aplikasi *Online Storage* seperti Google *Spreadsheet* berfungsi sebagai antarmuka pengguna untuk memantau data suhu dan kelembapan secara waktu nyata, serta mengolah data untuk analisis lebih lanjut. Dalam penelitian lain (De Nardis et al., 2022), dilakukan perbandingan terhadap 10 platform IoT dengan kriteria protokol komunikasi, visualisasi data, pemrosesan data, integrasi dengan sistem lain, dan keamanan. Platform *FIWARE* menjadi unggul, terutama bagi peneliti IoT yang mengutamakan fleksibilitas, keterbukaan sumber kode, dan interkoneksi dengan sistem lain.

Fitur visualisasi dan pemrosesan data pada aplikasi IoT memerlukan media penyimpanan data

sensor. *API (Application Programmable Interface)* Google *Spreadsheet* menjadi pilihan yang mudah untuk menyimpan data sensor kondisi tanah (Kumkhet et al., 2022), stok barang (Kusuma, Putra and Suprpto, 2022), dan kehadiran (Wakchoure et al., 2022).

Aplikasi Google *Spreadsheet* memungkinkan pengolahan data, pembuatan visualisasi, dan hasilnya dapat diakses oleh pengguna dari Internet. Dengan demikian, integrasi teknologi IoT sangat membantu laboran pada saat pengujian benih dalam aspek pemantauan data kualitas udara secara *real-time*.



Gambar 1. Arsitektur Sistem IoT

### 2.3 Uji Benih

Pentingnya uji viabilitas atau mutu benih tidak bisa diragukan lagi dalam dunia pertanian. Salah satu metode yang umum digunakan untuk menilai keberhasilan benih adalah dengan mengukur daya berkecambah. Proses perkecambahan benih dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan, termasuk ketersediaan air, suhu, kelembapan udara, intensitas cahaya, dan media tempat benih ditanam (Faisal, Ismadi and Rafli, 2022). Adanya perbedaan dalam parameter-parameter ini dapat memberikan dampak signifikan pada tingkat keberhasilan perkecambahan suatu benih.

Berbagai metode pengujian perkecambahan di laboratorium telah dikembangkan untuk memastikan keakuratan dan konsistensi hasil. Beberapa metode tersebut melibatkan uji di atas kertas (UDK), uji kertas digulung dengan posisi didirikan (UKDdp), dan uji antar kertas (UAK). Dalam lingkungan laboratorium, hasil pengujian perkecambahan seringkali menunjukkan daya berkecambah yang lebih tinggi karena kondisi perkecambahan dapat diatur dan dikontrol secara optimal.

Penting untuk dicatat bahwa laboratorium uji benih sering kali menggunakan fasilitas khusus yang disebut *germinator* (Prayitno, Mukhlis and Hariyanto, 2023). *Germinator* adalah ruang yang dapat diprogram untuk menciptakan kondisi

lingkungan yang ideal, termasuk suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya. Penggunaan *germinator* bertujuan untuk mengoptimalkan pengujian perkecambahan benih, menciptakan lingkungan yang mendekati kondisi di lapangan.

Sistem pemantauan kondisi iklim di dalam *germinator* menjadi elemen penting dalam memastikan hasil pengujian yang konsisten. Pemantauan suhu dan kelembapan secara akurat dapat memberikan gambaran yang jelas tentang bagaimana benih akan merespon lingkungan di lapangan (Hirawan and Hermenda, 2019). Oleh karena itu, pemantauan ini tidak hanya menjamin akurasi data, tetapi juga memastikan bahwa kondisi yang diberikan mencerminkan situasi yang mungkin dihadapi oleh benih di lapangan.

Selain itu, pemahaman mendalam tentang cara perkecambahan benih terjadi di bawah berbagai kondisi lingkungan dapat memberikan wawasan berharga untuk perbaikan teknik budi daya tanaman dan pemilihan varietas benih yang lebih unggul. Dengan merinci faktor-faktor yang mempengaruhi perkecambahan benih, proses uji viabilitas benih dapat menjadi landasan untuk peningkatan kualitas benih secara keseluruhan. Informasi ini dapat digunakan oleh peneliti dan ahli pertanian untuk mengembangkan strategi yang lebih efektif dalam menghasilkan benih berkualitas tinggi.

Uji perkecambahan di laboratorium, terutama yang melibatkan *germinator* dengan sistem pemantauan iklim yang canggih, bukan hanya sebagai kewajiban untuk memenuhi standar kualitas benih, tetapi juga sebagai upaya nyata untuk memberikan solusi yang tepat bagi petani. Pada penelitian ini melakukan pemantauan iklim dalam *germinator* selama proses pengujian benih, yaitu berupa faktor suhu dan kelembapan. Kualitas data ditentukan dengan tingkat akurasi terhadap data hasil pengukuran dari alat ukur referensi yang telah dikalibrasi oleh Balai Pengujian Mutu Barang dibawah Kementerian Perdagangan Republik Indonesia. Dengan demikian laboratorium uji benih selalu dapat memastikan kualitas pengujian sesuai standard yang telah ditentukan.

### 2.4 Peningkatan Akurasi Pengukuran Data Sensor

Sistem IoT memiliki hubungan erat dengan komponen sensor, yang berfungsi sebagai sumber data bagi sistem di *cloud*, baik untuk tujuan monitoring maupun analisis lebih lanjut. Meskipun demikian, seringkali terdapat perbedaan antara data yang dihasilkan oleh sensor dan data pada alat ukur referensi, menunjukkan ketidakakuratan yang bisa merugikan terutama dalam konteks penggunaan industri. Hal ini menjadi lebih kritis di lembaga UPT sertifikasi uji benih di bawah Dinas TPH Provinsi Riau yang memberikan pelayanan sertifikasi untuk bibit unggul kepada petani.

Secara umum, alat ukur referensi yang digunakan dalam proses sertifikasi, seperti alat ukur suhu dan kelembapan ruang, secara rutin menjalani proses kalibrasi oleh pihak yang berwenang untuk memastikan konsistensi pembacaan data. Kalibrasi merupakan langkah penting dalam memastikan akurasi hasil pengukuran sensor.

Salah satu metode kalibrasi yang umum digunakan adalah regresi linier (Wakchoure et al., 2022)(Rumpa, Ambabunga and Pineng, 2023), bahkan sudah banyak digunakan untuk peningkatan akurasi pengukuran pH tanah (Gunawan et al., 2019). Metode ini menghasilkan koefisien regresi ( $a$ ) dan konstanta ( $b$ ) sesuai dengan persamaan matematis (1).

$$Y = aX + b \quad (1)$$

Dalam persamaan tersebut,  $X$  adalah data pengukuran sensor, dan  $Y$  adalah hasil dari regresi linier. Persamaan matematis (1) diperoleh melalui perbandingan antara data pengukuran sensor dengan data pengukuran alat referensi dalam rentang data tertentu. Implementasi persamaan ini ke dalam perhitungan sensor di mikrokontroler dapat meningkatkan akurasi hasil pengukuran pada sistem IoT, menjadikannya mendekati tingkat akurasi alat ukur referensi.

Pada penelitian ini disajikan pengembangan dari metode regresi linier yaitu melakukan inversi dari variabel bebas dan variabel tak bebas. Pada model ini, data referensi menjadi variabel bebas dan data hasil pengukuran dari sensor menjadi variabel tak bebas. Pada bagian hasil dan pembahasan akan dibandingkan kinerja dari metode ini berbasis nilai RMSE.

Proses kalibrasi menjadi kunci dalam memastikan bahwa data yang dihasilkan oleh sensor dapat diandalkan dan sesuai dengan standar yang berlaku. Di lingkungan lembaga sertifikasi uji benih, di mana keakuratan data memiliki dampak langsung pada hasil sertifikasi bibit, upaya maksimal dalam menjaga akurasi dan keandalan sistem IoT sangatlah krusial.

### 3. METODE PENELITIAN

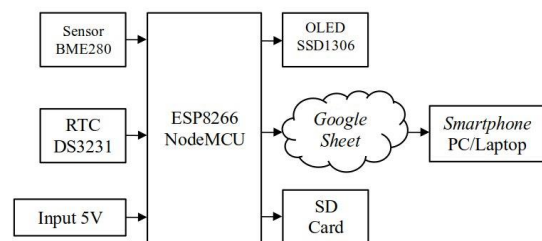
Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah perancangan perangkat keras dan perancangan perangkat lunak berbasis Arduino IDE untuk menghasilkan kemampuan penyimpanan data yang andal dan hemat energi.

#### 3.1 Perangkat Keras

Laboratorium uji benih di Dinas TPH Provinsi Riau memerlukan perangkat yang dapat memberikan informasi tentang suhu dan kelembapan di ruang uji benih. Agar pemantauan dan pencatatan informasi suhu dan kelembapan dapat dilakukan secara efektif, alat yang digunakan harus memiliki beberapa kemampuan penting. Pertama, alat tersebut harus dilengkapi dengan layar yang memungkinkan

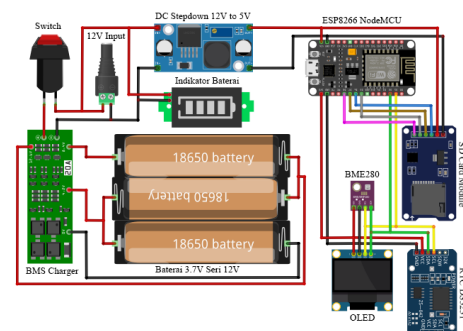
petugas laboratorium melihat informasi secara langsung. Kedua, alat harus memiliki media penyimpanan untuk mencatat dan menyimpan informasi tersebut. Ketiga, perangkat juga harus memiliki kemampuan untuk mengirimkan informasi ke penyimpanan awan, memungkinkan pemantauan melalui jaringan Internet.

Dengan memiliki perangkat yang memenuhi ketiga kriteria tersebut, laboratorium dapat mengoptimalkan pengawasan terhadap kondisi lingkungan ruang uji benih. Informasi yang tersedia secara waktu nyata tidak hanya memudahkan petugas laboratorium dalam mengambil tindakan yang diperlukan, tetapi juga memberikan fleksibilitas dalam pemantauan dari lokasi manapun melalui jaringan Internet. Dengan demikian, adopsi teknologi canggih ini dapat meningkatkan efisiensi operasional laboratorium uji benih.



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

Gambar 2 menampilkan komponen utama sistem, yaitu mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dengan tiga kemampuan utama sebagaimana telah disebutkan. Sensor BME280 menjadi komponen kunci yang memberikan informasi kepada mikrokontroler. RTC (*Real-Time Clock*) berfungsi sebagai sumber waktu yang akurat, digunakan untuk sinkronisasi informasi dari sensor. Sementara itu, masukan 5V berperan sebagai sumber daya utama sistem, memungkinkan perangkat beroperasi selama 24 jam. Dengan konfigurasi ini, sistem dapat berfungsi secara optimal. Mikrokontroler sebagai otak utama yang membaca informasi dari sensor dan melakukan proses kalibrasi berdasarkan waktu yang dibaca dari RTC. Sumber daya 5V diperlukan untuk menjaga semua proses tersebut diatas.



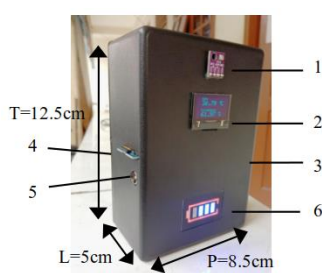
Gambar 3. Rangkaian Skematik

Ilustrasi cara kerja sumber daya sistem ini tergambar pada Gambar 3, yang menyoroti peran

krusial beberapa komponen utama. Modul BMS *charger* berfungsi ganda sebagai pengisi daya baterai dan penjaga agar proses pengisian baterai tidak melebihi kapasitas yang dapat merusaknya. Indikator baterai menjadi penunjuk penting, memberikan informasi visual tentang daya tersisa pada baterai. Dengan bantuan indikator ini, pengguna dapat dengan mudah menentukan waktu yang tepat untuk melakukan pengisian ulang, mencegah kegagalan sistem karena kehabisan daya.

Komponen DC *step down* 12V to 5V berperan sebagai penurun tegangan yang mendapat pasokan daya dari adaptor 12V atau baterai 3 x 3,7V. Adaptor 12V menjadi sumber utama daya sistem, terhubung ke jaringan PLN (Perusahaan Listrik Negara) untuk menyediakan daya kontinyu. Sumber daya baterai menjadi pilihan secara otomatis jika terjadi kondisi darurat seperti pemadaman listrik dari PLN. Keistimewaan sumber daya baterai terletak pada kemampuannya untuk mendukung operasional sistem hingga 48 jam. Hal ini membuat sistem pemantauan suhu dan kelembapan mampu berfungsi secara tak terputus, asalkan pemadaman listrik dari PLN tidak melebihi batas waktu 48 jam.

Pentingnya waktu tahan baterai selama 48 jam memberikan keandalan tambahan pada sistem, terutama dalam menghadapi gangguan daya yang bersifat sementara. Dengan demikian, sistem tidak hanya mampu memberikan pemantauan yang kontinyu tetapi juga menjamin keberlanjutan layanan bahkan dalam kondisi darurat. Keunggulan ini menjadikan sistem ini sebagai solusi andal untuk pemantauan suhu dan kelembapan, memastikan kelancaran operasional dalam berbagai kondisi lingkungan dan keandalan sumber daya yang dapat diandalkan.



Gambar 4. Dimensi alat sistem pencatatan suhu dan kelembapan

Desain kemasan alat diperlihatkan pada Gambar 4. Kemasan terdiri dari (1) sensor BME280, (2) layar OLED, (3) saklar hidup/mati, (4) slot kartu microSD, (5) port masukan adaptor 12 VDC, dan (6) indikator baterai. Dimensi kemasan alat adalah panjang (P) = 8,5 cm, lebar (L) = 5 cm, dan tinggi (T) = 12,5 cm.

### 3.2 Perangkat Lunak

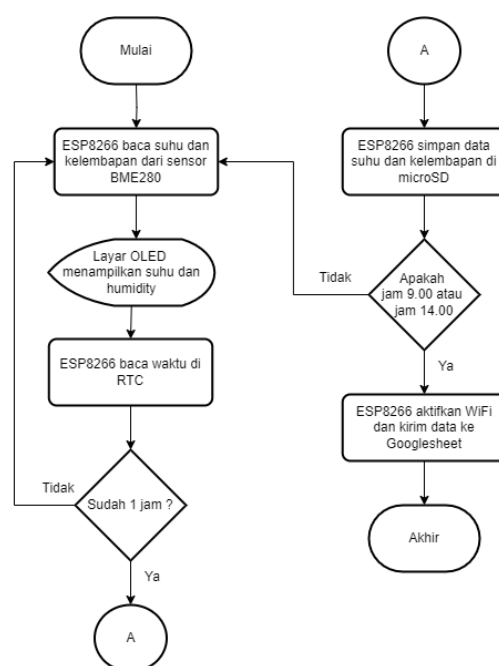
Gambar 5 menggambarkan diagram alir perangkat lunak yang menjelaskan cara kerja NodeMCU ESP8266 membaca sensor dan mengirimkan data sensor ke *googlesheet*. NodeMCU

ESP8266 sebagai pusat kontrol, yang bertugas membaca informasi dari sensor suhu dan kelembapan BME280. Setiap detik, data yang diperoleh dari sensor ditampilkan pada layar OLED sebagai tampilan lokal.

Penting untuk dicatat bahwa setiap satu jam, berdasarkan waktu yang diatur oleh RTC, NodeMCU ESP8266 melakukan penyimpanan informasi suhu dan kelembapan ke kartu microSD yang terpasang sebagai media penyimpanan lokal di perangkat tersebut. Data yang disimpan di microSD memiliki format .csv, memungkinkan akses mudah menggunakan aplikasi editor teks.

Sebagai bagian dari fungsionalitas sistem, jika RTC menunjukkan pukul 9.00 atau 14.00, NodeMCU ESP8266 secara otomatis mengirimkan informasi suhu dan kelembapan ke Google *Spreadsheet* melalui jaringan Internet. Proses ini memanfaatkan koneksi Wi-Fi, yang diaktifkan hanya pada saat informasi perlu dikirimkan. Ini merupakan strategi penghematan daya yang signifikan, memastikan bahwa modul Wi-Fi tidak bekerja secara terus-menerus, melainkan hanya ketika diperlukan.

Dengan menerapkan strategi penghematan daya ini, sistem memiliki kemampuan untuk beroperasi lebih dari 48 jam tanpa bergantung pada pasokan listrik dari PLN. Ini menjadi salah satu keunggulan sistem, terutama dalam situasi di mana ketersediaan daya listrik mungkin menjadi tantangan. Sehingga, sistem ini tidak hanya efisien dalam penggunaan daya, tetapi juga dapat diandalkan dalam menjalankan fungsinya tanpa perlu bergantung secara konstan pada sumber daya eksternal. Gambar 5 memberikan gambaran visual yang jelas tentang alur kerja sistem ini, sementara implementasi strategi penghematan daya menjadi elemen kunci dalam desain yang lebih efisien dan berkelanjutan.



Gambar 5. Diagram alir perangkat lunak

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini menjelaskan dengan detail cara pengambilan data dan proses kalibrasi untuk meningkatkan akurasi pembacaan data dari sensor, serta evaluasi kinerja dengan nilai RMSE (Root Mean Square Error).

##### 4.1 Sebelum Kalibrasi

Laboratorium uji mutu benih memiliki dimensi ruang 6 meter × 3 meter, dilengkapi dengan peralatan uji mutu benih seperti *analytic balance*, *germinator*, *oven*, penyimpanan dingin, penghitung benih, cawan, peniup benih, dan pembagi sentrifugal. Dalam melakukan pengujian mutu benih, penting untuk menjaga kondisi suhu dan kelembapan ruang. Untuk memastikan akurasi, sistem pemantauan suhu dan kelembapan dibandingkan dengan hasil pembacaan alat referensi yang telah distandarisasi.

Alat ukur referensi yang dimiliki oleh Laboratorium uji mutu benih adalah jenis Corona GL-89 IN/OUT Thermo Hygrometer dengan spesifikasi:

- *Max and Min record of temperature and humidity*
- *Inside temperature range: -10°C - +50°C*
- *Outside temperature range: -50°C - +70°C*
- *Humidity range: 10% - 95%*
- *Length of outside sensor cable: 250cm*

Penelitian ini menggunakan alat ukur Corono GL-89 untuk membaca data referensi suhu dan kelembapan. Alat ukur referensi tersebut sebelum digunakan, terlebih dahulu telah melalui proses kalibrasi oleh BPMB (Balai Pengujian Mutu Barang) dibawah Kementerian Perdagangan Republik Indonesia.

Tabel I mencatat hasil pengukuran suhu dan kelembapan menggunakan alat yang dibuat dan alat referensi standar. Pengambilan data dilakukan dua kali sehari, pada pukul 9.00 pagi dan 2.00 sore. Analisis data menunjukkan adanya selisih nilai antara hasil bacaan sensor dan alat referensi. Selisih ini bervariasi, dengan rentang terendah 1,16 °C dan tertinggi 4,16 °C untuk suhu, serta terendah 9,1 % dan tertinggi 14,5 % untuk kelembapan udara.

Informasi selisih antara pengukuran suhu dan kelembapan dengan nilai referensi memberikan gambaran sejauh mana model dapat mendekati nilai sebenarnya yang diukur oleh sensor BME 280. Data dari Tabel I menjadi dasar untuk mengukur akurasi dan efektivitas model regresi liner dalam memperbaiki pengukuran suhu dan kelembapan ruang uji benih.

Langkah selanjutnya untuk meningkatkan akurasi adalah melakukan kalibrasi pada sensor BME280. Kalibrasi dilakukan agar hasil pengukuran sensor mendekati pembacaan alat referensi yang sudah distandarisasi. Nilai yang dibaca oleh alat referensi dijadikan sebagai nilai acuan untuk mengkalibrasi sensor, sehingga data hasil pengukuran lebih mendekati kebenaran.

Dengan melakukan kalibrasi dan memperbaiki hasil pengukuran, diharapkan laboratorium uji mutu benih dapat memberikan hasil yang lebih akurat dan dapat diandalkan. Penerapan langkah-langkah ini akan meningkatkan kepercayaan pada data yang dihasilkan oleh sistem pemantauan suhu dan kelembapan, mendukung tujuan akurasi dalam pengujian mutu benih.

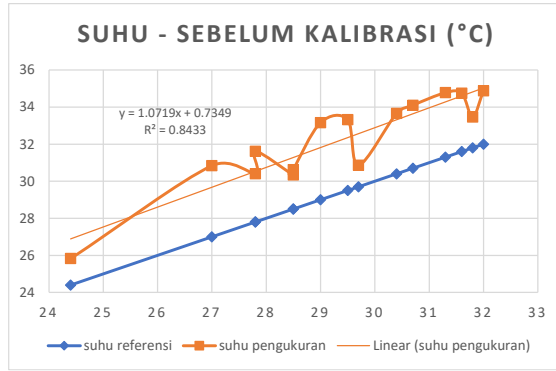
Analisis pengukuran suhu dan kelembapan yang dilakukan menggunakan sensor dan alat referensi memberikan gambaran yang mendalam tentang kinerja sistem. Gambar 6 menggambarkan hubungan antara nilai suhu yang dibaca oleh sensor (sumbu Y) dan nilai suhu dari alat referensi (sumbu X) dalam bentuk scatter plot. Sebelumnya, data diurutkan secara menaik berdasarkan nilai suhu dari alat referensi untuk mempermudah pemahaman pola hubungan antara keduanya.

Dari Gambar 6 terlihat bahwa titik-titik data sensor (grafik berwarna oranye) selalu berada di atas kurva alat referensi (grafik berwarna biru), menunjukkan bahwa suhu yang dibaca oleh sensor cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan nilai suhu yang dihasilkan oleh alat referensi. Ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti ketidakakuratan sensor atau pengaruh lingkungan sekitar yang mungkin memengaruhi pembacaan sensor.

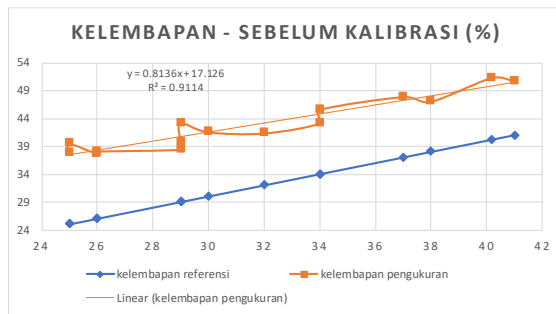
Tabel 1. Perbandingan Pengukuran Suhu dan Kelembapan Sebelum Kalibrasi

| No                                            | Waktu            | Suhu Ref (°C) | Suhu Pengukuran (°C)          | Kelembapan Ref (%) | Kelembapan Pengukuran (%) |
|-----------------------------------------------|------------------|---------------|-------------------------------|--------------------|---------------------------|
| 1                                             | 1/9/23<br>09.00  | 28,5          | 30,6                          | 40,2               | 51,3                      |
| 2                                             | 1/9/23<br>14.00  | 30,7          | 34,1                          | 29                 | 39,7                      |
| 3                                             | 7/9/23<br>09.00  | 24,4          | 25,8                          | 41                 | 50,8                      |
| 4                                             | 7/9/23<br>14.00  | 29,7          | 30,9                          | 29                 | 43,2                      |
| 5                                             | 8/9/23<br>09.00  | 27,8          | 30,4                          | 37                 | 47,9                      |
| 6                                             | 8/9/23<br>14.00  | 31,8          | 33,5                          | 25                 | 39,5                      |
| 7                                             | 11/9/23<br>09.00 | 28,5          | 30,3                          | 34                 | 45,6                      |
| 8                                             | 11/9/23<br>14.00 | 30,4          | 33,7                          | 30                 | 41,6                      |
| 9                                             | 12/9/23<br>09.00 | 27,8          | 31,6                          | 29                 | 38,5                      |
| 10                                            | 12/9/23<br>14.00 | 31,3          | 34,8                          | 26                 | 38,1                      |
| 11                                            | 13/9/23<br>09.00 | 29,5          | 33,3                          | 34                 | 43,2                      |
| 12                                            | 13/9/23<br>14.00 | 32            | 34,9                          | 25                 | 37,8                      |
| 13                                            | 14/9/23<br>09.00 | 29            | 33,2                          | 32                 | 41,4                      |
| 14                                            | 14/9/23<br>14.00 | 31,6          | 34,7                          | 26                 | 37,7                      |
| 15                                            | 15/9/23<br>09.00 | 27            | 30,8                          | 38                 | 47,1                      |
| $RMSE_{suhu} = 2,996\text{ }^{\circ}\text{C}$ |                  |               | $RSME_{kelembapan} = 11,34\%$ |                    |                           |
| Akurasi = 90%                                 |                  |               | Akurasi = 63%                 |                    |                           |





Gambar 6. Grafik suhu sebelum kalibrasi



Gambar 7. Grafik kelembapan udara sebelum kalibrasi

Untuk mengevaluasi perbedaan secara lebih mendetail antara nilai suhu sensor dan alat referensi, dilakukan perhitungan kesalahan menggunakan metode *RMSE* (*Root Mean Square Error*). Nilai *RMSE* yang dihasilkan dari pengukuran suhu ini adalah sebesar 2,996 °C. Nilai ini diambil dari data pada Tabel 1 dengan jumlah data  $N = 15$ , yaitu setiap selisih antara suhu referensi dan suhu pengukuran kemudian di rata-rata kan dan hasilnya di kuadratkan, seperti persamaan matematis (2)

$$RMSE_{suhu} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (suhu_{ref} - suhu_{ukur})^2}{N}} \quad (2)$$

*RMSE* memberikan informasi tentang seberapa besar deviasi atau kesalahan rata-rata antara nilai yang diukur dengan nilai referensi. Nilai yang rendah menunjukkan akurasi yang tinggi, meskipun nilai *RMSE* sebaiknya dibandingkan dengan rentang nilai suhu yang diukur untuk mendapatkan konteks yang lebih baik.

Selanjutnya, akurasi pengukuran suhu dihitung berdasarkan rata-rata rasio kesalahan dengan suhu referensi seperti pada persamaan matematika (3)

$$Akurasi_{suhu} = 100\% - \left( \frac{\sum_{i=1}^N \left( \frac{|suhu_{ref} - suhu_{ukur}|}{suhu_{ref}} \right)}{N} \right) \quad (3)$$

Akurasi sebesar 90% menunjukkan bahwa meskipun terdapat perbedaan antara nilai suhu sensor dan alat referensi, sebagian besar pengukuran tetap berada dalam batas kesalahan yang dapat diterima. Ini menunjukkan kualitas yang baik dalam pengukuran

suhu sistem, meskipun masih ada ruang untuk perbaikan.

Pada Gambar 7, analisis serupa dilakukan untuk pengukuran kelembapan udara. *Scatter plot* menunjukkan bahwa titik-titik data sensor (grafik berwarna oranye) cenderung berada di atas kurva alat referensi (grafik berwarna biru), menunjukkan kelembapan udara yang dibaca oleh sensor lebih tinggi dibandingkan nilai kelembapan udara dari alat referensi.

*RMSE* untuk pengukuran kelembapan udara sebesar 11,34% yang didapat dengan persamaan matematika (2) namun diganti datanya pada Tabel 1 menjadi data kelembapan. Data akurasi untuk kelembapan mencapai 63% menggunakan rumus (3) dengan data kelembapan. Meskipun nilai *RMSE* relatif lebih tinggi dibandingkan dengan pengukuran suhu, akurasi yang masih cukup baik menunjukkan bahwa sistem memiliki kinerja yang dapat diterima dalam pengukuran kelembapan udara.

Dalam keseluruhan analisis, perbedaan antara nilai sensor dan alat referensi dapat diartikan sebagai indikasi keakuratan sensor yang digunakan. Perbaikan mungkin diperlukan untuk meningkatkan akurasi khususnya dalam pengukuran kelembapan udara. Evaluasi ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang performa sistem, memungkinkan pengembangan dan perbaikan lebih lanjut untuk meningkatkan akurasi pengukuran suhu dan kelembapan pada masa mendatang.

## 4.2 Model Kalibrasi

Dalam upaya mencapai hasil yang optimal, penelitian ini melibatkan percobaan terhadap tiga model kalibrasi yang berbeda. Analisis dan perbandingan akan dilakukan terhadap nilai *RMSE* dan akurasi dari ketiga model tersebut. Model yang memiliki *RMSE* terkecil dan/atau akurasi tertinggi akan dipilih untuk diimplementasikan pada perangkat IoT yang dikembangkan.

Ketiga model kalibrasi yang diuji dalam penelitian ini mencakup: (1) Translasi data, (2) Regresi linier, dan (3) Inversi regresi linier. Setiap model memiliki pendekatan yang unik dalam mengatasi perbedaan antara data pengukuran sensor dan data referensi (Wang and Zhu, 2021; Zheng et al., 2021; Kazi, Filip and Kazi, 2023; Song et al., 2023).

Percobaan pada model pertama adalah melakukan translasi data. Pada model translasi data ini, dilakukan pergeseran data pengukuran sebesar nilai *RMSE* ke arah nilai referensi. Pergeseran data ini dapat diterapkan karena nilai korelasi antara data pengukuran dari sensor dan dari alat referensi sangat tinggi, yakni 0,92 untuk suhu dan 0,95 untuk kelembapan udara. Nilai korelasi yang tinggi ini menunjukkan bahwa data referensi dengan data pengukuran dari sensor memiliki hubungan yang sangat kuat dan positif. Jika nilai suhu dan kelembapan udara dari alat referensi naik maka suhu



dan kelembapan udara yang dibaca oleh sensor juga naik dengan tingkat kenaikan yang hampir sama.

Adapun model translasi data yang digunakan pada penelitian ini sebagai berikut. Untuk suhu, nilai RMSE adalah sebesar 2,996 °C dan kelembapan udara sebesar 11,34%. Berdasarkan nilai ini, diperoleh model translasi data seperti pada persamaan (4) dan persamaan (5) masing-masing untuk suhu udara (T) dan kelembapan udara (H).

$$T_1 = T_{sensor} - 2,996 \quad (4)$$

$$H_1 = H_{sensor} - 11,34 \quad (5)$$

Percobaan pada model kedua mengadopsi pendekatan regresi linier. Dalam model ini, data pengukuran dari sensor dimodelkan dalam bentuk regresi linier, di mana data pengukuran menjadi variabel bebas dan data referensi menjadi variabel tak bebas. Hasilnya adalah persamaan (6) dan (7) masing-masing untuk suhu udara dan kelembapan udara:

$$T_2 = 0,7868T_{sensor} + 4,0173 \quad (6)$$

$$H_2 = 1,1203H_{sensor} - 16,3801 \quad (7)$$

Variabel bebas  $T_{sensor}$  memiliki nilai kemiringan sebesar 0,7868 didapatkan dengan persamaan (8) yaitu kemiringan ( $m$ ) pada persamaan regresi linier. Nilai konstanta ( $b$ ) 4,0173 didapatkan dengan persamaan (9). Cara yang sama juga berlaku untuk mencari variabel bebas  $H_{sensor}$  dengan kemiringan ( $m$ ) 1,1203 dan konstanta ( $b$ ) -16,3801 menggunakan persamaan (8) dan (9) untuk data kelembapan pada Tabel 1.

$$m = \frac{\sum(T_{sensor} - \overline{T_{sensor}})(T_{ref} - \overline{T_{ref}})}{\sum(T_{sensor} - \overline{T_{sensor}})^2} \quad (8)$$

$$b = \overline{T_{ref}} - m \cdot \overline{T_{sensor}} \quad (9)$$

Percobaan pada model ketiga adalah dengan pendekatan inversi regresi linier. Pada model ini, data referensi menjadi variabel bebas dan data hasil pengukuran dari sensor menjadi variabel tak bebas. Dengan kondisi seperti ini, dilakukan regresi linier terlebih dahulu. Hasil regresi linier tersebut kemudian diinversikan untuk menjadikan data yang dibaca oleh sensor menjadi variabel bebas. Berdasarkan hal tersebut Nilai kemiringan 0,9330 pada persamaan (12) didapatkan dari inversi persamaan (8) yaitu menjadi kemiringan inversi  $m^{-1}$  persamaan (10) sedangkan untuk konstanta inversi  $b^{-1}$  persamaan (11).

$$m^{-1} = \frac{\sum(T_{ref} - \overline{T_{ref}})(T_{sensor} - \overline{T_{sensor}})}{\sum(T_{ref} - \overline{T_{ref}})^2} \quad (10)$$

$$b^{-1} = \overline{T_{ref}} - m^{-1} \cdot \overline{T_{sensor}} \quad (11)$$

Berdasarkan hal tersebut, diperoleh model inversi regresi linier seperti pada persamaan (12) dan persamaan (13) masing-masing untuk suhu udara dan kelembapan udara.

$$T_3 = 0,9330T_{sensor} - 0,6856 \quad (12)$$

$$H_3 = 1,2292H_{sensor} - 21,0505 \quad (13)$$

Selanjutnya, hasil dari ketiga model ini akan dianalisis dan dibandingkan. Pengukuran akurasi dan RMSE menjadi kriteria penentu dalam pemilihan model terbaik. RMSE memberikan gambaran tentang sejauh mana deviasi antara data sensor dan referensi, sementara akurasi memberikan persentase seberapa baik model mampu mencocokkan data sensor dengan referensi.

Perhitungan RMSE untuk ketiga model diatas menggunakan persamaan (2) dengan variabel  $suhu_{ukur}$  dapat diganti dengan  $T_1$  untuk model tranlasi,  $T_2$  untuk model regresi linier dan  $T_3$  untuk model inversi regresi linier. Demikian juga perhitungan RMSE untuk kelembapan untuk kelembapan. Sedangkan untuk perhitungan akurasi pada ketiga model didapatkan dengan menggunakan persamaan (3) dengan variabel  $suhu_{ukur}$  juga diganti dengan persamaan (4), (6), dan (12) secara berurutan untuk model tranlasi, regresi linier, dan inversi regresi linier. Demikian juga perhitungan akurasi pada nilai kelembapan yang variable  $suhu_{ukur}$  diganti dengan nilai pada persamaan (5), (7) dan (13) untuk model translasi, regresi linier, dan inversi regresi linier.

Berdasarkan penjelasan diatas maka pada model translasi data suhu udara diperoleh nilai RMSE sebesar 0,958 °C dan akurasi 97,15%. Sedangkan nilai RMSE dan akurasi untuk data kelembapan udara masing-masing sebesar 1,9157% dan 96,98%. Untuk model regresi linier, diperoleh nilai RMSE dan akurasi dari data suhu udara masing-masing sebesar 0,800 °C dan 97,86%. Sedangkan untuk kelembapan udara diperoleh nilai RMSE dan akurasi masing-masing sebesar 1,568% dan 95,85%. Untuk model inversi regresi linier, diperoleh nilai RMSE dan akurasi dari data suhu udara masing-masing sebesar 0,872 °C dan 97,41%. Sedangkan untuk kelembapan udara diperoleh nilai RMSE dan akurasi masing-masing sebesar 1,642% dan 95,61%. Tabel 2 menunjukkan perbandingan nilai RMSE dan akurasi ketiga model.

Pada pendekatan model translasi data, ditemukan bahwa nilai RMSE untuk suhu udara adalah sebesar 0,958 °C dengan tingkat akurasi mencapai 97,15%. Sementara itu, untuk data kelembapan udara, nilai RMSE dan akurasi masing-masing adalah 1,9157% dan 96,98%. Model regresi linier menunjukkan hasil yang menggembirakan dengan nilai RMSE untuk suhu udara sebesar 0,800 °C dan akurasi mencapai 97,86%. Untuk kelembapan udara, nilai RMSE dan akurasi masing-masing sebesar 1,568% dan 95,85%. Pada model inversi regresi linier, nilai RMSE untuk suhu udara adalah

0,872 °C dengan akurasi 97,41%, sedangkan untuk kelembapan udara, ditemukan nilai RMSE sebesar 1,642% dengan tingkat akurasi mencapai 95,61%. Tabel II memberikan perbandingan nilai RMSE dan akurasi dari ketiga model, menggambarkan perbedaan performa antara ketiganya.

Tabel 2. Perbandingan Nilai RMSE dan Akurasi Model Kalibrasi

| Model     | Suhu      |             | Kelembapan Udara |             |
|-----------|-----------|-------------|------------------|-------------|
|           | RMSE (°C) | Akurasi (%) | RMSE (%)         | Akurasi (%) |
| Translasi | 0,958     | 97,15       | 1,663            | 95,52       |
| Data      |           |             |                  |             |
| Regresi   | 0,800     | 97,86       | 1,568            | 95,85       |
| Linier    |           |             |                  |             |
| Inversi   | 0,872     | 97,41       | 1,642            | 95,61       |
| Regresi   |           |             |                  |             |
| Linier    |           |             |                  |             |

Dari data Tabel 2, ditemukan bahwa model regresi linier menunjukkan nilai RMSE terendah dan akurasi tertinggi baik untuk suhu maupun kelembapan udara. Oleh karena itu, kesimpulan yang dapat diambil adalah model terbaik yang paling efektif dalam memodelkan hubungan antara data sensor dan referensi adalah regresi linier. Persamaan (4) digunakan untuk menggambarkan hubungan suhu, sementara persamaan (5) digunakan untuk merepresentasikan hubungan kelembapan udara. Pilihan untuk mengadopsi model regresi linier ini didasarkan pada performa optimal dalam mengurangi kesalahan dan meningkatkan akurasi pengukuran. Hasil ini membuktikan bahwa model regresi linier memberikan solusi kalibrasi yang optimal untuk perangkat IoT yang sedang dikembangkan, dengan kemampuan akurasi yang tinggi dalam mencocokkan data sensor dengan referensi yang diukur.

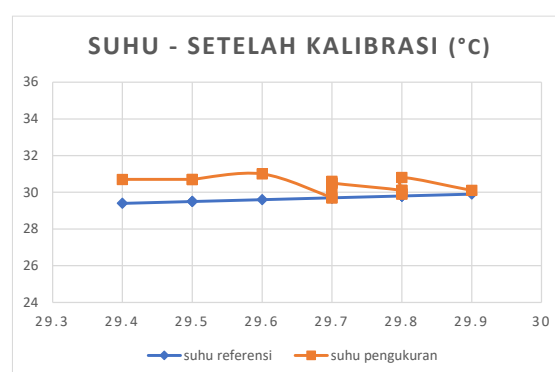
### 4.3 Setelah Kalibrasi

Setelah model kalibrasi diaplikasikan pada perangkat IoT untuk pengambilan data baru, data tersebut kemudian dianalisis menggunakan pendekatan yang sama. Gambar 8 memvisualisasikan data, di mana nilai pada sumbu X mencerminkan nilai suhu yang terbaca oleh alat referensi. Data diurutkan secara menaik berdasarkan nilai suhu dari alat referensi. Dari grafik tersebut, terlihat bahwa suhu yang diukur oleh sensor (grafik berwarna oranye) selalu menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan suhu referensi (grafik berwarna biru).

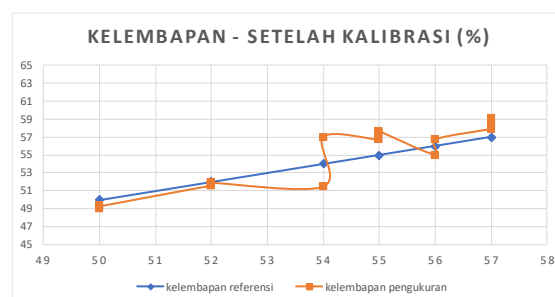
Setelah melalui proses kalibrasi, nilai RMSE untuk suhu mencapai 0,7992 °C, dan akurasi mencapai 98%. Hasil ini menggambarkan peningkatan yang signifikan jika dibandingkan dengan nilai RMSE sebelum kalibrasi yang mencapai 2,9958 °C. Selain itu, nilai RMSE setelah kalibrasi juga mendekati hasil dari persamaan inversi regresi linier yang sebesar 0,8717 °C. Hal ini menandakan bahwa nilai RMSE sensor suhu setelah melalui kalibrasi mengalami perbaikan yang signifikan, mendekati nilai yang diperkirakan berdasarkan

persamaan inversi regresi linier. Dengan demikian persamaan inversi regresi linier bisa diterapkan sebagai metode yang efektif untuk meningkatkan akurasi pembacaan sensor suhu setelah melalui proses kalibrasi.

Pada Gambar 9, nilai pada sumbu X mencerminkan nilai kelembapan udara yang terukur oleh alat referensi. Dari visualisasi grafik tersebut, terlihat bahwa kelembapan yang dihasilkan oleh sensor (dengan grafik berwarna oranye) tidak selalu mengungguli kelembapan udara referensi (grafik berwarna biru). Pada beberapa titik nilai, kelembapan udara yang terdeteksi oleh sensor berada di bawah nilai kelembapan udara referensi, sementara pada titik-titik lainnya, kelembapan sensor justru lebih tinggi.



Gambar 8. Grafik suhu setelah kalibrasi



Gambar 9. Grafik kelembapan udara setelah kalibrasi

Setelah melalui proses kalibrasi, nilai RMSE untuk kelembapan udara mencapai 1,6311%, dan akurasi mencapai 97%. Hasil ini mengindikasikan peningkatan yang substansial jika dibandingkan dengan nilai RMSE sebelum kalibrasi yang mencapai 11,3412%. Lebih lanjut, nilai RMSE setelah kalibrasi juga cukup mendekati hasil dari persamaan inversi regresi linier yang sebesar 1,6424%.

Hasil ini menegaskan bahwa setelah proses kalibrasi, nilai RMSE sensor kelembapan udara mengalami peningkatan yang signifikan, mendekati nilai yang diestimasi berdasarkan persamaan inversi regresi linier.

## 5. KESIMPULAN

Sistem pencatatan suhu dan kelembapan beroperasi secara efisien pada pukul 9.00 pagi dan 02.00 siang pada Google *Spreadsheet*. Penerapan

metode inversi regresi linier berhasil mengurangi selisih antara nilai pengukuran dan referensi. Berdasarkan analisis RMSE, terlihat bahwa perbaikan kesalahan pengukuran suhu mencapai 73%, sementara untuk nilai kelembapan mencapai 86%. Hasil ini menunjukkan bahwa metode inversi regresi linier memberikan kontribusi signifikan dalam mengoptimalkan akurasi sistem.

Dengan adanya perbaikan ini, akurasi pengukuran nilai suhu terhadap referensi meningkat drastis menjadi 98%, sementara akurasi pengukuran nilai kelembapan mencapai 97%. Peningkatan akurasi yang cukup tinggi ini menandakan bahwa implementasi inversi regresi linier efektif dalam meminimalkan kesalahan pengukuran. Dengan demikian, sistem pencatatan suhu dan kelembapan mampu memberikan hasil yang lebih akurat dan dapat diandalkan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- ADMIN, 2022. *Seksi Kultivar Sertifikasi dan Pengawasan Benih Tanaman Pangan*, [online] Pangannews.id. Available at: <<http://dinastph.sumutprov.go.id/tph/detail.php?id=642>> [Accessed 17 July 2024].
- CHOOSUMRONG, S., HATAITARA, R., PANUMONWATEE, G., RAGHAVAN, V., NUALSRI, C., PHASINAM, T. AND PHASINAM, K., 2023. Development of IoT based Smart Monitor and Control System using MQTT Protocol and Node-RED for Parabolic Greenhouse Solar Drying. *International Journal of Information Technology*, 15(4), pp.2089–2098. <https://doi.org/10.1007/s41870-023-01237-3>.
- FACHRURI, M., MUHIDONG, J. AND SAPSAL, M.T., 2019. Analisis Pengaruh Suhu dan Kelembaban Ruang terhadap Kadar Air Benih Padi di Gudang Penyimpanan PT. Sang Hyang Seri. *Jurnal Agritechno*, pp.131–137. <https://doi.org/10.20956/at.v0i0.221>.
- FAISAL, F., ISMADI, I. AND RAFLI, M., 2022. Upaya Peningkatan Performa Perkecambahan Benih dalam Pengujian di Laboratorium melalui Perancangan Alat Pengecambah Benih yang Ideal. *Jurnal Agrium*, 19(1), p.9. <https://doi.org/10.29103/agrium.v19i1.6762>.
- GUNAWAN, R., ANDHIKA, T., SANDI, AND HIBATULLOH, F., 2019. Sistem Monitoring Kelembapan Tanah, Suhu, pH, dan Penyiraman Otomatis pada Tanaman Tomat berbasis Internet of Things. *Telekontran*, 7(1), pp.66-78. <https://doi.org/10.34010/telekontran.v7i1.1640>.
- HIRAWAN, D. AND HERMANDA, D., 2019. Pembangunan Sistem Monitoring Pengelolaan Benih Tanaman Hutan berbasis Internet of Things dan Smart Energy. *Komputika: Jurnal Sistem Komputer*, 8(2), pp.119-128. <https://doi.org/10.34010/komputika.v8i2.2279>.
- HOLOVATYY, A., 2021. Development of IoT Weather Monitoring System Based on Arduino and ESP8266 Wi-Fi Module. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1016(1), p.012014. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1016/1/012014>.
- JEROME O, N., 2019. *Encyclopedia of Environmental Health*. 2nd ed. Elsevier.
- KAZI, Z., FILIP, S. AND KAZI, L., 2023. Predicting PM2.5, PM10, SO2, NO2, NO and CO Air Pollutant Values with Linear Regression in R Language. *Applied Sciences*, 13(6), p.3617. <https://doi.org/10.3390/app13063617>.
- KUMAR BHOI, S., KUMAR PANDA, S., KUMAR JENA, K., SAGAR SAHOO, K., Z. JHANJHI, N., MASUD, M. AND ALJAHDALI, S., 2022. IoT-EMS: An Internet of Things based Environment Monitoring System in Volunteer Computing Environment. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 32(3), pp.1493–1507. <https://doi.org/10.32604/iasc.2022.022833>.
- KUMKHET, B., RAKLUEA, P., SANGMAHAMAD, P., PIRAJNANCHAI, V., PECHRKOOOL, T. AND SUTHAM, T., 2022. IoT-based Automatic Brightness and Soil Moisture Control System for Gerbera Smart Greenhouse. In: *2022 International Electrical Engineering Congress (iEECON)*. IEEE. pp.1–4. <https://doi.org/10.1109/iEECON53204.2022.9741578>.
- KUSUMA, V.A., PUTRA, M.I.A. AND SUPRAPTO, S.S., 2022. Sistem Monitoring Stok dan Penjualan Minuman pada Vending Machine berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan Google Sheets dan Kodular. *Jurnal Sistim Informasi dan Teknologi*, pp.94–98. <https://doi.org/10.37034/jsisfotek.v4i3.136>.
- DE NARDIS, L., MOHAMMADPOUR, A., CASO, G., ALI, U. AND DI BENEDETTO, M.-G., 2022. Internet of Things Platforms for Academic Research and Development: A Critical Review. *Applied Sciences*, 12(4), p.2172. <https://doi.org/10.3390/app12042172>.
- PERDANA, D., RAMADHANI, K. AND ALINURSAFA, I., 2022. Analysis of the MQTT Protocol on Hydroponic System

- Based on Internet of Things and Antares Platform. *Webology*, 9(2), pp.5562–5576.
- PRASETYO, T., WULANJARI, M.E. AND SETIANI, C., 2021. Analisis Pengembangan Kelembagaan dan Sistem Produksi Benih Padi di Jawa Tengah. *Jurnal Riset Agribisnis dan Peternakan*, [online] 6(2), pp.69–84. <https://doi.org/10.37729/jrap.v6i2.1810>.
- PRAYITNO, P., MUKHLIS, S. AND HARIYANTO, B., 2023. Rancang Bangun Alat Perkecambahan Benih (Germinator) Portabel. *Jurnal Pengembangan Potensi Laboratorium*, 2(1), pp.44–50. <https://doi.org/10.25047/plp.v2i1.3682>.
- PURBAKAWACA, R. AND FAUZAN, S.A., 2022. Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara dalam Ruangan berbiaya Rendah berbasis IoT. *Jurnal Talenta Sipil*, 5(1), p.118. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v5i1.104>.
- PURWANTI, S., 2004. Study of Storage Temperature on the Quality of Black and Yellow Soybean Seed. *Ilmu Pertanian*, 11(1), pp.22–31.
- RAY, J. AND BORDOLUI, K.S., 2022. Seed Quality Deterioration of Tomato during Storage: Effect of Storing Containers and Condition. *Biological Forum*, 14(2), pp.327–334.
- RUMPA, L.D., AMBABUNGA, Y.A. AND PINENG, M., 2023. Optimization of ACS712 Sensor Current Measurement in Solar Power System through Regression Modeling. *Journal of Applied Informatics and Computing*, 7(2), pp.198–201. <https://doi.org/10.30871/jaic.v7i2.6511>.
- SÁ, J.P., ALVIM-FERRAZ, M.C.M., MARTINS, F.G. AND SOUSA, S.I.V., 2022. Application of the Low-Cost Sensing Technology for Indoor Air Quality Monitoring: a Review. *Environmental Technology & Innovation*, 28, p.102551. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2022.102551>.
- SONG, M., BURRA, E., PARZER, R. AND PFEIFFER, R.M., 2023. Structured Time-Dependent Inverse Regression (STIR). *Statistics in Medicine*, 42(9), pp.1289–1307. <https://doi.org/10.1002/sim.9670>.
- SYAHRUL YASIL LIMPO, 2022. *Kementan Tekankan Pentingnya Pengujian untuk Hasilkan Benih Unggul Bermutu*. [online] Pangannews.id. Available at: <<https://pangannews.id/berita/1643029509/kementan-tekanan-pentingnya-pengujian-untuk-hasilkan-benih-unggul-bermutu>> [Accessed 17 July 2024].
- WAHYU SITI ULAM SARI, GIGIH PRIYANDOKO AND DEDI USMAN EFFENDY, 2022. Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Udara Pada Ruang Isolasi Covid-19 berbasis Android menggunakan Sensor Sharp Gp2y1010au0f. *JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering*, 3(02), pp.1–11. <https://doi.org/10.31328/jasee.v3i02.204>.
- WAKCHOURE, S.S., SHEWALE, P.S., RAJPUT, J.G., GAUPAL, S.A., THAKRE, M.P. AND RADE, M.R., 2022. Multiple Approach of RFID-based Attendance System using IoT. pp.487–499. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-5301-8\\_36](https://doi.org/10.1007/978-981-16-5301-8_36).
- WANG, T. AND ZHU, L., 2021. Model-based Inverse Regression and Its Applications. In: *Festschrift in Honor of R. Dennis Cook*. Cham: Springer International Publishing. pp.109–125. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-69009-0\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-030-69009-0_6).
- ZHENG, L., LIN, R., WANG, X. AND CHEN, W., 2021. The Development and Application of Machine Learning in Atmospheric Environment Studies. *Remote Sensing*, 13(23), p.4839. <https://doi.org/10.3390/rs13234839>.