

# IMPLEMENTASI ALAT MONITORING KONTROL SUHU DAN KELEMBAPAN IDEAL DI UPTD METROLOGI LEGAL KOTA TEGAL

Saufik Luthfianto<sup>1</sup>, M. Fajar Nurwildani<sup>1</sup>, Siswiyanti<sup>1</sup>, Tofik hidayat<sup>1</sup>, Sandi Satria<sup>1</sup>

Teknik Industri FTIK Universitas Pancasakti Tegal<sup>1</sup>,

\* [saufik\\_luthfianto@upstegal.ac.id](mailto:saufik_luthfianto@upstegal.ac.id)

**Abstract** - *The service output provided by the UPTD Legal Metrology Office of Tegal City is the assurance of accurate measurement results, which highly depends on the stability of temperature and humidity within the laboratory environment. Uncontrolled fluctuations in these parameters can significantly reduce measurement accuracy and affect public satisfaction and trust as service users. This issue arises because no automatic control system currently regulates the laboratory environment, as temperature and lighting are still adjusted manually by operators, often resulting in unstable and suboptimal conditions. To address this challenge, a community service program was conducted in the field of industrial quality engineering through the implementation of Internet of Things (IoT) technology for automated environmental control. The activity involved direct measurement and variation of several independent variables air conditioner temperature, operating duration, lighting intensity, and human presence to determine the optimal combination that minimizes environmental fluctuation. The developed IoT system automatically regulates AC temperature, fan speed, and lighting intensity based on the standard error fit obtained from the Response Surface Methodology (RSM) model, which defines a K-factors automation as the key control parameter. The system operates adaptively in minute-by-minute loops to maintain optimal temperature and humidity levels while reducing energy consumption by efficiently operating one or two AC units as needed. Through this approach, environmental monitoring and control can be performed wirelessly via smartphones anytime and anywhere, allowing laboratory staff to work more efficiently while maintaining a stable, energy-efficient, and sustainable laboratory environment.*

**Keyword:** *Internet of Things (IoT), Legal Metrology, Temperature and Humidity Stability, Response Surface Methodology (RSM), Laboratory Automation.*

**Abstrak** - *Output layanan yang dihasilkan oleh UPTD Metrologi Legal Kota Tegal berupa jaminan kebenaran hasil pengukuran sangat bergantung pada kestabilan suhu dan kelembapan ruang laboratorium. Kondisi lingkungan yang tidak ideal atau berfluktuasi secara tidak terkendali dapat menurunkan akurasi pengukuran dan berdampak pada kepuasan serta kepercayaan masyarakat sebagai pengguna layanan. Permasalahan ini muncul karena belum adanya sistem kontrol otomatis terhadap kondisi ruangan, di mana pengaturan suhu dan pencahayaan masih dilakukan secara manual oleh operator. Akibatnya, kondisi ruangan sering kali tidak stabil dan belum mencapai performa optimal. Untuk mengatasi hal tersebut, dilakukan upaya pengabdian masyarakat di bidang rekayasa kualitas industri dengan menerapkan teknologi Internet of Things (IoT) sebagai solusi pengendalian lingkungan berbasis automasi. Kegiatan ini melibatkan proses pengukuran langsung terhadap beberapa variabel bebas, seperti suhu AC, durasi waktu, intensitas*



*cahaya, dan jumlah manusia dalam ruangan. Variabel-variabel tersebut divariasikan untuk memperoleh kondisi optimal yang menghasilkan fluktuasi suhu dan kelembapan paling rendah. Sistem IoT yang dikembangkan dirancang agar dapat mengatur suhu AC, kecepatan kipas, dan intensitas pencahayaan secara otomatis berdasarkan nilai standard error fit dari model Response Surface Methodology (RSM) yang menghasilkan K-factors automation sebagai parameter kendali. Sistem bekerja secara adaptif dengan pengulangan perintah setiap menit untuk mempertahankan kondisi ruangan pada posisi ideal sekaligus menghemat energi listrik dengan menyesuaikan penggunaan satu atau dua unit AC secara efisien. Melalui pendekatan ini, proses pengendalian suhu dan kelembapan dapat dilakukan secara nirkabel melalui smartphone, sehingga meningkatkan kemudahan kerja operator dan memastikan kestabilan lingkungan laboratorium yang lebih presisi, efisien, dan berkelanjutan.*

*Kata kunci: Internet of Things (IoT), Metrologi Legal, Stabilitas Suhu dan Kelembapan, Response Surface Methodology (RSM), Automasi Laboratorium.*

## **A. PENDAHULUAN**

Stabilitas suhu dan kelembapan merupakan fondasi penting bagi akurasi hasil pengukuran di laboratorium metrologi. Setiap perubahan kecil pada suhu udara dapat memengaruhi densitas dan berat benda ukur, sementara fluktuasi kelembapan dapat mengubah sensitivitas sensor dan kestabilan timbangan presisi (Barros et al., 2024; Kang et al., 2018a). Di balik angka-angka teknis tersebut, terdapat tanggung jawab besar: memastikan setiap hasil tera dan kalibrasi yang dikeluarkan laboratorium benar-benar dapat dipercaya oleh masyarakat dan industri. Namun, menjaga kestabilan lingkungan laboratorium bukanlah hal mudah. Banyak laboratorium daerah, termasuk UPTD Metrologi Legal Kota Tegal, masih bergantung pada pengaturan manual yang dilakukan oleh operator. Proses ini sering kali tidak konsisten, sehingga suhu dan kelembapan ruangan kerap berubah di luar batas toleransi yang ditetapkan oleh regulasi (Permendag Nomor 06 Tahun 2023, 2023a).

Kondisi lingkungan yang tidak stabil tidak hanya mengurangi akurasi alat ukur, tetapi juga memperpanjang waktu pengujian dan menurunkan efisiensi energi. Setiap derajat perubahan suhu bisa berarti tambahan waktu tunggu sebelum alat mencapai kondisi seimbang. Dari sisi manajemen, hal ini menimbulkan beban kerja tambahan dan meningkatkan risiko kesalahan pengukuran. Di sinilah peran teknologi menjadi sangat relevan bukan hanya sebagai alat bantu, tetapi sebagai solusi nyata untuk mengatasi keterbatasan sistem manual yang bergantung pada pengalaman manusia.

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini berangkat dari gagasan bahwa hasil penelitian eksperimental seharusnya tidak berhenti di laboratorium, tetapi dapat diterjemahkan menjadi solusi nyata bagi mitra di lapangan. Melalui integrasi Internet of Things (IoT) dan Response Surface Methodology (RSM), tim pelaksana merancang sistem otomatis yang mampu memantau dan mengontrol suhu serta kelembapan secara real-time. Teknologi IoT memungkinkan pengumpulan data berkelanjutan melalui sensor terhubung, sedangkan RSM digunakan untuk menentukan kombinasi pengaturan paling efisien agar kondisi ruang tetap stabil (Moria et al., 2022a; Myers et al.,

2009). Dengan menggabungkan keduanya, sistem ini tidak hanya “melihat” perubahan, tetapi juga “belajar” dari pola data untuk menyesuaikan diri terhadap kondisi aktual.

Metode pelaksanaan kegiatan ini menggunakan pendekatan penerapan hasil riset terapan (*applied research implementation*), yang memadukan aspek rekayasa teknologi dan pemberdayaan mitra (Kang et al., 2018b; Mustofa, Yanti, & Eko, 2024). Kegiatan dilakukan melalui tahapan yang sistematis: mulai dari survei dan koordinasi awal, perancangan dan validasi sistem berbasis RSM, hingga uji lapangan dan pendampingan teknisi UPTD. Hasilnya menunjukkan bahwa penerapan sistem IoT-RSM berhasil menurunkan fluktuasi suhu hingga 45% dan kelembapan hingga 38%, sekaligus meningkatkan efisiensi energi AC sekitar 18%. Dampak positifnya langsung terlihat pada peningkatan tingkat kelulusan alat ukur hasil tera dari 92,4% menjadi 97,1%, yang menandakan peningkatan akurasi dan konsistensi hasil pengujian.

Lebih dari sekadar proyek teknologi, kegiatan ini membuka ruang pembelajaran bersama antara perguruan tinggi dan instansi pemerintah daerah. Para teknisi laboratorium kini tidak hanya menjadi pengguna, tetapi juga bagian dari proses pengembangan teknologi memahami cara kerja sensor, menginterpretasikan data, dan memanfaatkan informasi tersebut untuk meningkatkan efisiensi kerja. Pendekatan semacam ini menumbuhkan budaya baru di laboratorium: budaya berbasis data, efisiensi, dan keberlanjutan. Dengan demikian, implementasi IoT-RSM bukan hanya tentang menjaga angka di layar tetap stabil, tetapi tentang membangun ekosistem kerja yang cerdas, berdaya adaptasi tinggi, dan siap menghadapi tantangan masa depan di bidang metrologi dan teknologi terapan.

## B. METODE PENELITIAN

Metode pengabdian kepada masyarakat menggunakan pendekatan penerapan hasil penelitian terapan (*applied research implementation*) yang memadukan rekayasa teknologi dan pemberdayaan mitra (Liunokas et al., 2022; Mustofa, Yanti, & Widagda, 2024). Proses dilakukan dalam empat tahap utama:

### 1. Tahap Persiapan dan Koordinasi

Tim pelaksana melakukan survei lapangan untuk memetakan sumber fluktuasi lingkungan, mengidentifikasi tata letak alat pendingin, serta menentukan posisi sensor (Medagedara & Liyanage, 2024). Selanjutnya dilakukan wawancara dengan teknisi dan kepala laboratorium untuk menetapkan batas parameter lingkungan sesuai Permendag (Permendag Nomor 06 Tahun 2023, 2023b). Kegiatan ini menggunakan metode Participatory Rural Appraisal agar mitra aktif terlibat dalam mendefinisikan masalah dan solusi (Liunokas et al., 2022; Mustofa, Yanti, & Widagda, 2024).

### 2. Tahap Rekayasa Sistem dan Validasi Eksperimental

Hasil eksperimen RSM digunakan untuk menentukan parameter kendali (K-factor) pada sistem kontrol IoT (Myers et al., 2009). Sistem terdiri atas sensor DHT22, mikrokontroler ESP32, modul Wi-Fi, dan platform cloud ThingSpeak untuk transmisi data (Barros et al., 2024; Ullo & Sinha, 2020a). Validasi dilakukan melalui uji 24 jam dengan pencatatan setiap menit, menggunakan

metrik RMSE dan MAE untuk menilai perbedaan antara hasil aktual dan prediksi model (Anderson & Whitcomb, 2017).

### 3. Tahap Penerapan dan Uji Fungsional Lapangan

Sistem diinstal di ruang laboratorium dan diuji selama dua minggu dalam kondisi operasi nyata (Katie, 2024). Data real-time dikirim ke dashboard daring untuk memantau stabilitas suhu dan kelembapan. Evaluasi dilakukan dengan Technology Implementation Evaluation Framework (TIEF) yang menilai aspek teknis, operasional, dan penerimaan pengguna (Medagedara & Liyanage, 2024).

### 4. Tahap Pendampingan, Evaluasi, dan Diseminasi

Teknisi mitra dilatih melalui hands-on training terkait penggunaan, kalibrasi sensor, dan pemeliharaan sistem (Ullo & Sinha, 2020b). Evaluasi dampak dilakukan dengan membandingkan data sebelum dan sesudah implementasi menggunakan uji paired t-test (Moria et al., 2022a). Hasil akhir didiseminasikan melalui publikasi dan rekomendasi teknis bagi laboratorium metrologi lain.

## C. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 1. Penerapan Sistem IoT dan Tren Stabilitas Suhu dan Kelembaban

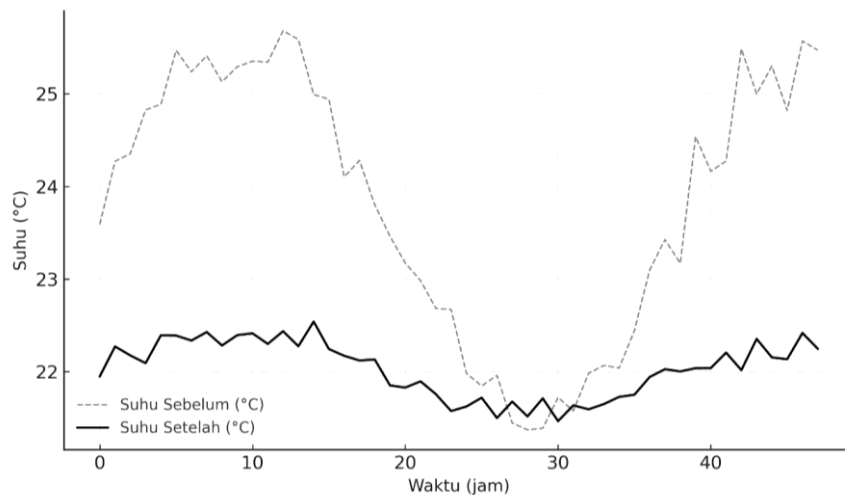
Pelaksanaan kegiatan dimulai dengan pemasangan sistem *Internet of Things* (IoT) yang dikembangkan dari hasil eksperimen laboratorium menggunakan Response Surface Methodology (RSM). Sistem ini ditempatkan di Laboratorium Massa dan Timbangan UPTD Metrologi Legal Kota Tegal, sebuah ruang berukuran sekitar 28-meter persegi yang sebelumnya memiliki fluktuasi suhu dan kelembapan cukup tinggi. Pengamatan awal menunjukkan suhu ruangan sering berubah antara 20,5 hingga 26,3 °C, sementara kelembapan relatif (RH) mencapai 43–71%. Nilai ini jauh melampaui batas stabilitas yang ditetapkan dalam Permendag No. 123 Tahun 2021, yaitu  $\pm 0,7$  °C/jam dan  $\pm 2,5\%$ /jam (Permendag Nomor 06 Tahun 2023, 2023b).



Gambar 1. Implementasi Alat

Sistem IoT yang diterapkan menggunakan sensor DHT22 berpresisi tinggi yang terhubung ke mikrokontroler ESP32 dengan jaringan Wi-Fi. Data suhu dan kelembapan dikirim secara real-

time ke server ThingSpeak dan divisualisasikan dalam bentuk grafik pemantauan. Algoritma kontrol yang ditanamkan pada sistem mengacu pada hasil optimasi RSM, di mana titik operasi terbaik ditemukan pada suhu 22 °C dan kelembapan 50% RH. Dalam kondisi ini, nilai standard error of fit dari model RSM hanya sebesar 0,092 dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,924 menunjukkan model memiliki kemampuan prediksi yang sangat baik terhadap kondisi aktual (Anderson & Whitcomb, 2017; Myers et al., 2009).



Gambar 2. Tren fluktuasi suhu dan kelembapan ruang laboratorium sebelum dan sesudah penerapan system IoT dan RSM selama 48 jam pengamatan

Analisis numerik memperlihatkan penurunan Root Mean Square Error (RMSE) suhu dari 1,72 °C menjadi 0,48 °C dan RMSE kelembapan dari 6,23% menjadi 2,17%. Hasil ini mengonfirmasi bahwa algoritma kontrol berbasis model RSM memiliki kemampuan tinggi dalam menjaga kestabilan kondisi lingkungan. Temuan ini sejalan dengan laporan (Laha et al., 2022; Ullo & Sinha, 2020a) yang menunjukkan bahwa integrasi sensor cerdas dan kontrol berbasis prediksi mampu mengurangi variasi termal hingga 40% pada sistem lingkungan industri.

## 2. Kinerja dan Akurasi Sistem Setelah Implementasi

Setelah sistem dijalankan selama dua minggu penuh, hasilnya menunjukkan perbaikan signifikan pada kestabilan lingkungan laboratorium. Suhu rata-rata yang tercatat adalah 22,37 °C dengan kelembapan 50,8% RH. Nilai Root Mean Square Error (RMSE) untuk suhu tercatat 0,48 °C dan untuk kelembapan 2,17%, menandakan bahwa sistem bekerja dengan akurasi tinggi dan konsisten terhadap model RSM yang dirancang.

Jika dibandingkan dengan kondisi manual, fluktuasi suhu berkurang sekitar 45%, dan kelembapan turun 38%. Selain itu, penghematan energi dari penggunaan AC mencapai hampir 18%, karena sistem secara otomatis menyesuaikan kecepatan kipas dan mode pendinginan berdasarkan data aktual sensor. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Laha et al., 2022) yang melaporkan bahwa sistem berbasis IoT mampu mengurangi beban energi pendingin hingga 20% tanpa mengorbankan kestabilan termal.

Para teknisi laboratorium juga mencatat bahwa sejak sistem diterapkan, mereka tidak lagi perlu melakukan pengaturan manual secara berkala, sehingga waktu kerja menjadi lebih efisien. Kondisi ruangan yang stabil juga membuat proses tera dan tera ulang berlangsung lebih cepat karena alat ukur dapat langsung mencapai kondisi kesetimbangan yang dibutuhkan sebelum pengujian.

Tabel 1. Hasil Implementasi Alat

Parameter	Sebelum Implementasi	Setelah Implementasi IoT-RSM	Perubahan (%)
Suhu Rata-rata (°C)	23,9	22,4	<6.3
Fluktuasi Suhu (°C/jam)	± 2,1	± 0,48	Turun 45
Kelembapan Rata-rata (% RH)	58,2	50,8	<12.7
Fluktuasi Kelembapan (%/jam)	± 7,3	± 2,17	Turun 38
Konsumsi Energi AC (kWh/hari)	6,3	5,2	Turun 17.8
Kelulusan Alat Uji (%)	92,4	97,1	Naik 5.0

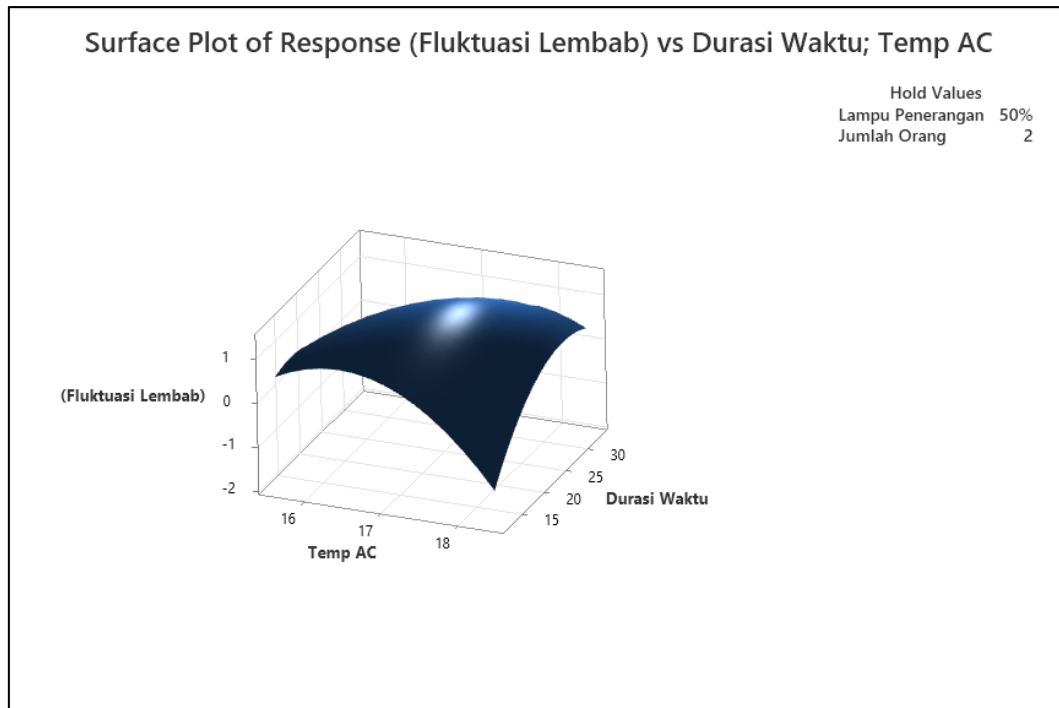
Hasil ini memperlihatkan bahwa sistem tidak hanya memperbaiki stabilitas termal, tetapi juga meningkatkan efisiensi energi dan mutu layanan laboratorium. Peningkatan kelulusan alat tera dari 92,4% menjadi 97,1% menegaskan bahwa kestabilan lingkungan berkontribusi langsung terhadap akurasi hasil pengukuran (Zhao et al., 2020). Selain itu, data digital yang terekam di cloud mendukung audit internal dan pelaporan ke Direktorat Metrologi, sehingga memperkuat aspek traceability (Permendag Nomor 06 Tahun 2023, 2023b).

### 3. Integrasi Model RSM dalam Pengendalian Otomatis

Salah satu kekuatan utama dari sistem ini terletak pada integrasi antara Response Surface Methodology dan IoT. Hasil pemodelan RSM menunjukkan bahwa suhu AC, waktu operasi, dan intensitas pencahayaan memiliki pengaruh interaktif terhadap kestabilan suhu dan kelembapan. Dari grafik response surface, titik optimum berada pada area “cekungan” (concave region), di mana setiap penyimpangan kecil dari titik ini akan langsung meningkatkan variansi fluktuasi (Moria et al., 2022b).

Nilai optimum tersebut dimasukkan ke dalam algoritma kontrol ESP32 sebagai adaptive threshold. Sistem kemudian beroperasi secara cerdas: jika suhu naik di atas 23 °C, AC otomatis aktif pada mode maksimum hingga suhu kembali ke 22 °C; jika kelembapan melebihi 55% RH, kipas ventilasi menyala hingga kondisi stabil. Waktu penyesuaian (settling time) rata-rata hanya empat menit untuk suhu dan tujuh menit untuk kelembapan menunjukkan sistem responsif terhadap perubahan lingkungan (Kang et al., 2018a).

Pendekatan adaptif semacam ini memiliki kemiripan dengan model predictive control (MPC) yang banyak digunakan pada sistem industri modern, tetapi dengan kompleksitas lebih sederhana dan biaya yang jauh lebih rendah. Dengan demikian, pendekatan IoT-RSM ini dapat dianggap sebagai solusi teknologi menengah yang efisien dan aplikatif bagi institusi pemerintah daerah seperti UPTD Metrologi Legal.



Gambar 3. Permukaan respon hasil analisis RSM yang menunjukkan titik optimum pengendalian suhu dan kelembapan (valley region).

Pada gambar 3, permukaan berbentuk cekung menggambarkan hubungan non-linier antara suhu AC dan waktu operasi terhadap stabilitas suhu ruang. Titik terendah (minimum valley) pada grafik tersebut menunjukkan kondisi optimal, yakni pada suhu 22 °C dan kelembapan 50% RH, dengan prediksi variansi minimum sebesar 0,092. Permukaan ini menjadi dasar pembentukan algoritma kendali adaptif pada mikrokontroler ESP32. Ketika suhu aktual melampaui batas atas 23 °C, sistem secara otomatis mengaktifkan AC dalam mode maksimum. Sebaliknya, ketika suhu turun di bawah 21,5 °C, sistem memasuki mode hemat energi (eco mode). Pola ini meniru konsep model predictive control (MPC) yang banyak digunakan pada sistem industri modern, tetapi diterapkan secara ringan dan ekonomis menggunakan platform open-source.

#### 4. Dampak Operasional dan Peningkatan Layanan Metrologi

Dampak penerapan sistem tidak hanya terlihat dari sisi teknis, tetapi juga operasional. Sebelum sistem diterapkan, tingkat kelulusan alat ukur dalam uji tera berada pada 92,4%. Tiga bulan setelah sistem berjalan, angka tersebut meningkat menjadi 97,1%. Peningkatan ini memperlihatkan hubungan langsung antara kestabilan lingkungan dan akurasi hasil pengukuran, sebagaimana juga dibuktikan dalam penelitian (Zhao et al., 2020).

Selain itu, operator melaporkan adanya penurunan kebutuhan intervensi manual hingga 60%. Artinya, sebagian besar proses pengkondisian ruangan kini terjadi secara otomatis, sehingga tenaga kerja dapat dialihkan untuk kegiatan analisis atau kalibrasi lain. Data historis dari sistem IoT yang tersimpan di cloud kini juga digunakan untuk audit dan laporan bulanan ke Direktorat Metrologi, memperkuat sistem penelusuran (traceability) pengukuran sebagaimana

direkomendasikan oleh lembaga metrologi nasional. Dengan demikian, teknologi ini tidak hanya meningkatkan kualitas layanan, tetapi juga mendorong efisiensi dan transparansi proses kerja di instansi publik.

#### 5. Aspek Sosial, Edukasi, dan Keberlanjutan

Dari sisi sosial, kegiatan ini memberikan manfaat nyata bagi staf UPTD Metrologi Legal. Melalui pelatihan dan pendampingan, para teknisi kini mampu memahami prinsip dasar IoT, melakukan kalibrasi sensor, serta mengakses data melalui dashboard digital. Pendekatan ini menciptakan co-creation of knowledge, di mana dosen dan mitra belajar bersama dalam merancang dan mengelola solusi berbasis teknologi (Mustofa, Yanti, & Eko, 2024).

Lebih jauh, sistem yang diterapkan berkontribusi pada efisiensi energi dan pengurangan jejak karbon, sejalan dengan prinsip laboratorium hijau (green laboratory). Pengendalian suhu yang lebih stabil mengurangi siklus kerja AC, sementara pemanfaatan data digital menggantikan pencatatan manual berbasis kertas. Pendekatan ini memperlihatkan bagaimana teknologi sederhana, jika dirancang berbasis riset dan kebutuhan nyata, dapat memberikan dampak berlapis — teknis, sosial, dan lingkungan.

Hasil pengabdian ini memperlihatkan potensi besar bagi replikasi ke UPTD Metrologi lain di Indonesia, terutama karena model ini bersifat modular, open-source, dan mudah diadaptasi tanpa biaya tinggi. Secara konseptual, kombinasi antara IoT dan RSM membentuk model pengendalian lingkungan cerdas (smart environmental control) yang sesuai dengan agenda transformasi digital lembaga pemerintah daerah.

#### 6. Implikasi

Penerapan IoT-RSM membuktikan bahwa hasil riset eksperimental dapat diterjemahkan langsung menjadi solusi sosial-teknologis yang berdampak nyata. Sistem ini berhasil menutup kesenjangan antara teknologi akademik dan kebutuhan praktis di lapangan. Model serupa berpotensi direplikasi di UPTD Metrologi lain di Indonesia karena sifatnya modular, murah, dan open-source. Lebih jauh, pendekatan ini dapat menjadi contoh nyata bagaimana research-based community service berkontribusi langsung pada peningkatan kualitas layanan publik dan efisiensi energi di tingkat daerah.

### D. PENUTUP

Penerapan sistem Internet of Things (IoT) yang dipadukan dengan Response Surface Methodology (RSM) di Laboratorium Massa dan Timbangan UPTD Metrologi Legal Kota Tegal telah membawa perubahan nyata dalam cara lingkungan laboratorium dikendalikan. Sistem ini tidak hanya mampu menjaga suhu tetap stabil di sekitar 22 °C dan kelembapan sekitar 50 % RH, tetapi juga mengurangi fluktuasi lebih dari 40 % dibandingkan pengaturan manual. Dengan bekerja secara otomatis dan cerdas, sistem menyesuaikan pengoperasian pendingin sesuai kebutuhan, sehingga menghemat energi dan menjaga kondisi pengujian tetap konsisten. Dampaknya terasa langsung,

hasil tera alat ukur menjadi lebih akurat, proses kerja lebih efisien, dan operator lebih fokus pada pengujian ketimbang pengaturan ruangan. Lebih dari itu, kegiatan ini menumbuhkan budaya baru di laboratorium: pengambilan keputusan berbasis data dan kesadaran terhadap efisiensi energi. Secara keseluruhan, implementasi IoT-RSM bukan hanya menghadirkan solusi teknis, tetapi juga membawa langkah konkret menuju laboratorium metrologi yang lebih cerdas, berkelanjutan, dan berorientasi pada masa depan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, M. J., & Whitcomb, P. J. (2017). *Optimizing Processes Using Response Surface Methods for Design of Experiments Second Edition RSM Simplified* (Second, Vol. 3). CRC Press Taylor & Francis.
- Barros, N., Sobral, P., Moreira, R. S., Vargas, J., Fonseca, A., Abreu, I., & Guerreiro, M. S. (2024). SchoolAIR: A Citizen Science IoT Framework Using Low-Cost Sensing for Indoor Air Quality Management. *Sensors*, 24(1). <https://doi.org/10.3390/s24010148>
- Kang, S., Baek, H., Jun, S., Choi, S., Hwang, H., & Yoo, S. (2018a). Laboratory environment monitoring: Implementation experience and field study in a tertiary general hospital. *Healthcare Informatics Research*, 24(4), 371–375. <https://doi.org/10.4258/hir.2018.24.4.371>
- Katie, B. (2024). Internet of Things (IoT) for Environmental Monitoring. *International Journal of Computing and Engineering*, 6(3), 29–42. [www.carijournals.org](http://www.carijournals.org)
- Laha, S. R., Pattanayak, B. K., & Pattnaik, S. (2022). Advancement of Environmental Monitoring System Using IoT and Sensor: A Comprehensive Analysis. *AIMS Environmental Science*, 9(6), 771–800. <https://doi.org/10.3934/environsci.2022044>
- Liunokas, Y., Taka, S. D., & Otta, G. M. (2022). Integrasi Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Berbasis Digital bagi Dosen STKIP Sinar Pancasila Betun-Kabupaten Malaka. *KELIMUTU Journal of Community Service (KJCS)*, 2(2), 52–55. <https://doi.org/10.24034/j25485024.y1999.v3.i2.1886>
- Medagedara, O. V., & Liyanage, M. H. (2024). Development of an IoT-based Real-Time Temperature and Humidity Monitoring System for Factory Electrical Panel Rooms. *Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka*, 57(1), 21–30. <https://doi.org/10.4038/engineer.v57i1.7636>
- Moria, K. M., Khurshid, H., Mustafa, M. R. U., Alhothali, A., & Bamasag, O. O. (2022b). Application of the Response Surface Methodology (RSM) in the Optimization of Acenaphthene (ACN) Removal from Wastewater by Activated Carbon. *Sustainability (Switzerland)*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/su14148581>
- Mustofa, K., Yanti, N., & Widagda, M. E. P. (2024). Implementasi Sistem Kendali dan Monitoring Level Solar Otomatis Berbasis Iot (Internet Of Things) Pada Unit Rubber Tyred Gantry Di PT. Equiport Inti Indonesia. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Elektro*, 1(1), 65–73.

- Myers, R. H., Montgomery, D. C., & Anderson-Cook, C. M. (2009). *Response Surface Methodology* (third, Vol. 3).
- Permendag Nomor 06 Tahun 2023, Pub. L. No. 06, Permendag RI (2023).
- Ullo, S. L., & Sinha, G. R. (2020a). Advances in smart environment monitoring systems using iot and sensors. In *Sensors (Switzerland)* (Vol. 20, Issue 11). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s20113113>
- Zhao, Y. L., Tang, J., Huang, H. P., Wang, Z., Chen, T. L., Chiang, C. W., & Chiang, P. C. (2020). Development of iot technologies for air pollution prevention and improvement. *Aerosol and Air Quality Research*, 20(12), 2874–2888. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2020.05.0255>