

SISTEM MONITORING PH LARUTAN FINISHING FURNITUR BERBASIS IOT SECARA REAL-TIME

Muhammad Afif Affandi^{1*)}, Soleh Muhamad¹

¹ Program Studi DIII-Teknik Produksi Funitur, Politeknik Industri Furnitur dan Pengolahan Kayu

Jalan Wanamarta Raya Kawasan Industri No.20, Tambak, Wonorejo, Kaliwungu, Kendal, Jawa Tengah, Indonesia

*) E-mail: m.affandi@poltek-furnitur.ac.id

Abstrak

Stabilitas kimiawi larutan *finishing* merupakan faktor krusial dalam menentukan kualitas akhir lapisan permukaan furnitur. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring *Potential of Hydrogen* (pH) larutan *finishing* furnitur berbasis *Internet of Things* (IoT) secara *real-time*. Fokus penelitian ini adalah membandingkan dua jenis larutan *finishing* yaitu *waterbased*, *top coat gloss*, dan air (WB+TC) dan *waterbased* dan air (WB) selama tujuh hari pengamatan. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa larutan WB+TC memiliki stabilitas pH yang lebih unggul, dimulai dari nilai 8.56 dan berakhir di 8.09 pada hari ketujuh. Sebaliknya, larutan WB standar menunjukkan penurunan yang lebih agresif, jatuh dari nilai awal 8.13 menjadi 7.21. Penurunan tajam pada larutan WB tanpa *top coat* mengindikasikan kerentanan terhadap reaksi oksidasi dan penyerapan CO₂ dari lingkungan yang lebih cepat. Hasil penelitian membuktikan bahwa penambahan *top coat gloss* bertindak sebagai agen penyangga (*buffering agent*) yang memperlambat degradasi basa. Implementasi sistem IoT terbukti efektif dalam memberikan data presisi tinggi secara kontinu, yang memungkinkan deteksi dini terhadap perubahan kimiawi larutan sebelum mencapai titik netral yang dapat merusak daya rekat dan estetika *finishing*. Sistem ini menawarkan solusi bagi industri furnitur untuk menjaga standarisasi kualitas produk melalui pengawasan parameter kimia secara otomatis dan akurat.

Kata kunci: *Potential of Hydrogen* (pH), larutan *finishing*, *Internet of Things* IoT, *waterbased*, *top coat gloss*, air

Abstract

The chemical stability of finishing solutions is a crucial factor in determining the final quality of furniture surface coatings. This study aims to design and implement a real-time Internet of Things (IoT)-based monitoring system for the Potential of Hydrogen (pH) of furniture finishing solutions. The focus of this study is to compare two types of finishing solutions: water-based, top coat gloss, and water (WB+TC) and water-based and water (WB) over a seven-day observation period. The data obtained show that the WB+TC solution exhibits superior pH stability, starting at a value of 8.56 and ending at 8.09 on the seventh day. In contrast, the standard WB solution exhibited a more aggressive decline, dropping from an initial value of 8.13 to 7.21. The sharp decline in the WB solution without a top coat indicates greater susceptibility to oxidation reactions and faster CO₂ absorption from the environment. The research results demonstrate that the addition of a gloss top coat acts as a buffering agent that slows down the degradation of the base. The implementation of the IoT system has proven effective in continuously providing high-precision data, enabling early detection of chemical changes in the solution before they reach a neutral point that could compromise the adhesive strength and aesthetic quality of the finish. This system offers a solution for the furniture industry to maintain product quality standards through automated and accurate monitoring of chemical parameters.

Keywords: *Potential of Hydrogen* (pH), finishing liquid, Internet of Things (IoT), waterbased, gloss top coat, water

1. Pendahuluan

Industri furnitur merupakan salah satu sektor manufaktur yang memiliki kontribusi signifikan dalam meningkatkan nilai tambah produk berbasis kayu. Pada proses produksi furnitur, tahap *finishing* memegang peranan penting karena menentukan kualitas visual, daya tahan, serta nilai estetika

produk akhir. Proses *finishing* menggunakan larutan kimia seperti *coating*, *varnish*, *lacquer*, maupun sistem berbasis air yang memiliki karakteristik kimia tertentu. Salah satu parameter penting dalam pengendalian kualitas larutan *finishing* adalah tingkat keasaman (pH), karena pH dapat mempengaruhi stabilitas kimia, daya lekat, serta performa lapisan pelindung terhadap permukaan kayu [1], [2].

Dalam perspektif manajemen kualitas, pengendalian proses produksi memerlukan pemantauan variabel kritis secara konsisten untuk meminimalkan variasi dan cacat produk. Konsep *Statistical Process Control* (SPC) yang diperkenalkan oleh Walter A. Shewhart menekankan bahwa stabilitas proses sangat bergantung pada kemampuan dalam mengendalikan variasi penyebab khusus. Fluktuasi pH yang tidak terdeteksi dalam larutan *finishing* dapat menyebabkan ketidakkonsistenan warna, penurunan daya rekat, hingga munculnya cacat permukaan seperti blistering dan peeling, yang pada akhirnya meningkatkan *defect rate* produksi [3].

Lebih lanjut, pendekatan manajemen mutu modern yang dikembangkan oleh Joseph M. Juran dan W. Edwards Deming menegaskan pentingnya pengambilan keputusan berbasis data untuk mencapai perbaikan mutu berkelanjutan. Namun, dalam praktik industri, monitoring pH sering kali masih dilakukan secara manual dan periodik menggunakan alat ukur konvensional. Metode ini memiliki keterbatasan dalam hal frekuensi pengambilan data, potensi kesalahan manusia, serta keterlambatan dalam mendeteksi perubahan kondisi larutan [4]. Perkembangan teknologi digital menghadirkan konsep *Internet of Things* (IoT), yang pertama kali dipopulerkan oleh Kevin Ashton pada tahun 2009. IoT memungkinkan perangkat fisik yang dilengkapi sensor untuk saling terhubung melalui jaringan internet sehingga data dapat dikumpulkan dan dianalisis secara real-time. Dalam dunia industri, penerapan IoT menjadi salah satu fondasi utama dalam transformasi Industri 4.0 yang menekankan integrasi sistem siber-fisik, otomatisasi, dan analisis data berbasis *cloud* dalam proses manufaktur [5], [6], [7].

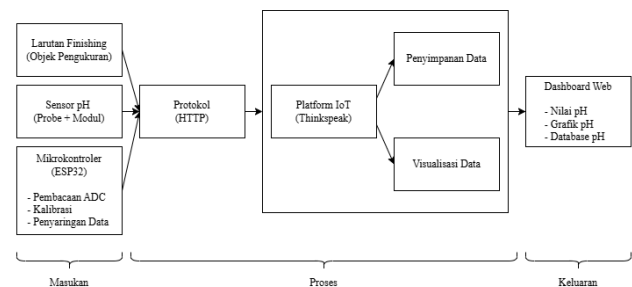
Dalam konteks *finishing* furnitur, mengintegrasikan sensor pH dengan arsitektur IoT memungkinkan pemantauan kondisi larutan *finishing* secara real-time, pencatatan data otomatis dan pengawasan jarak jauh. Meskipun adopsi IoT di bidang manufaktur semakin meningkat, penelitian yang secara khusus membahas pemantauan parameter kimia berbasis IoT dalam proses *finishing* furnitur masih terbatas. Oleh karena itu, studi ini mengusulkan pengembangan sistem pemantauan pH larutan *finishing* furnitur berbasis IoT yang bertujuan untuk meningkatkan konsistensi kualitas produk dan mengurangi variabilitas proses. Sistem yang diusulkan dirancang untuk menyediakan pengukuran pH secara real-time, penyimpanan data berbasis *cloud*, dan visualisasi analitik untuk mendukung keputusan pengendalian mutu [8], [9]. Kontribusi penelitian ini terletak pada pengintegrasian prinsip-prinsip pengendalian mutu dengan pemantauan secara real-time dengan memanfaatkan teknologi IoT untuk meningkatkan stabilitas proses *finishing*. Hasil yang diharapkan meliputi peningkatan konsistensi pelapisan, pengurangan tingkat cacat, pemanfaatan sumber daya yang lebih baik, dan peningkatan daya saing produk furnitur di era manufaktur digital.

2. Metode

Studi ini menggunakan pendekatan penelitian rekayasa dengan metode pengembangan eksperimental untuk merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem pemantauan pH berbasis IoT untuk larutan *finishing* furnitur guna menjaga kualitas produk. Metodologi penelitian mencakup tahapan kerangka penelitian, desain perangkat keras, desain perangkat lunak, dan pengujian sistem. Secara garis besar, penelitian dilaksanakan dalam lima tahap berurutan, antara lain penentuan parameter pengamatan yaitu pH larutan *finishing*, perancangan dan perakitan perangkat keras serta perangkat lunak sistem monitoring, kalibrasi sensor pH menggunakan larutan *buffer* standar, pengambilan data pH dari dua komposisi larutan *finishing* secara kontinu selama tujuh hari, dan analisis data secara deskriptif kuantitatif. Metode eksperimen yang digunakan bersifat komparatif dengan satu faktor perlakuan, yaitu komposisi larutan *finishing*.

2.1. Kerangka Penelitian

Gambar 1 menjelaskan kerangka penelitian untuk sistem pemantauan pH larutan *finishing* furnitur berbasis IoT yang dirancang untuk mengukur, memproses, mengirimkan, dan menampilkan data pH secara *real-time*. Kerangka penelitian ini terdiri dari tiga tahap fungsional utama: masukan, proses, dan keluaran.



Gambar 1. Kerangka Penelitian

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa tahapan proses penelitian yang harus dilalui. Berikut ini adalah penjelasan dari Gambar 1 :

1. Masukan

Blok pertama mewakili larutan *finishing* yang digunakan sebagai objek penelitian dengan menggunakan pelapis berbahan dasar air. Tingkat pH larutan ini sangat memengaruhi kekuatan rekat pelapis, stabilitas warna, kinerja pengeringan, dan kualitas permukaan secara keseluruhan. Blok kedua adalah unit sensor pH, yang terdiri dari probe pH elektroda kaca yang terintegrasi dengan modul pengkondisi sinyal. Sensor ini mengukur aktivitas ion hidrogen (H^+) dalam larutan dan

menghasilkan tegangan analog yang sebanding dengan nilai pH. Karena keluaran sensor umumnya berupa sinyal milivolt berlevel rendah, modul pengkondisi memperkuat dan menstabilkan sinyal tersebut sebelum meneruskannya ke unit pemrosesan. Kalibrasi dilakukan menggunakan larutan penyangga standar (pH 4.01, 6.86, dan 9.18) untuk menetapkan model konversi linier dan meningkatkan akurasi pengukuran. Blok ketiga adalah unit pemrosesan dan kontrol yang diimplementasikan menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai otak utama untuk pemrosesan data. Unit ini melakukan konversi analog-ke-digital (ADC), mengubah tegangan yang diukur menjadi nilai pH berdasarkan parameter kalibrasi, serta menerapkan teknik penyaringan digital untuk mengurangi noise dan fluktuasi sinyal.

2. Proses

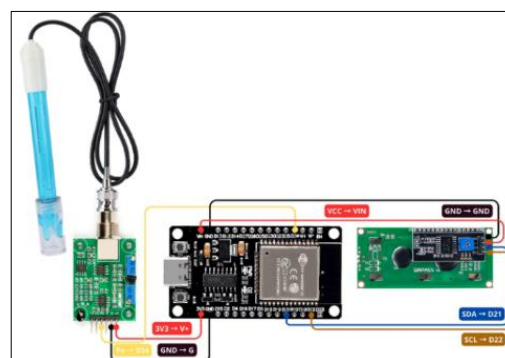
Blok keempat merupakan modul komunikasi yang memanfaatkan kemampuan WiFi dari ESP32 untuk mengirimkan data yang telah diproses ke server jarak jauh. Protokol HTTP berbasis REST API digunakan untuk memastikan transfer data yang efisien dan andal. Interval transmisi data dapat dikonfigurasi sesuai kebutuhan pemantauan, sehingga memungkinkan pelaporan secara real-time atau berkala. Blok kelima adalah sistem pemantauan dan pengelolaan data berbasis *cloud*. Data yang dikirimkan disimpan dalam basis data terpusat dan divisualisasikan menggunakan platform IoT ThingSpeak [10], [11].

3. Output

Blok terakhir menampilkan *dashboard* yang memperlihatkan nilai pH real-time, grafik tren historis, dan basis data. Catatan data historis mendukung evaluasi proses, pelacakan, dan inisiatif peningkatan kualitas berkelanjutan.

2.2. Desain Perangkat Keras

Gambar 2 menggambarkan arsitektur perangkat keras dari suatu sistem yang dirancang untuk melakukan pengukuran pH secara real-time pada larutan *finishing* furnitur, memproses data secara lokal, dan mengirimkan hasil pengukuran ke platform IoT berbasis *cloud*. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu modul sensor pH, unit mikrokontroler dengan kemampuan komunikasi nirkabel, sistem catu daya, dan antarmuka pemantauan lokal.



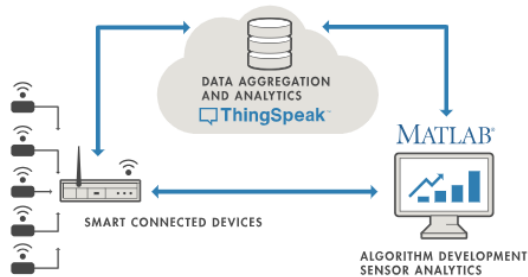
Gambar 2. Desain Perangkat Keras

Pengukuran tingkat keasaman dilakukan menggunakan sensor pH elektroda kaca industri dengan rentang pengukuran 0–14 pH dan akurasi ± 0.5 pH. Berbeda dengan pendekatan konvensional yang menggunakan modul penguat eksternal, dalam desain ini sinyal keluaran sensor dihubungkan langsung ke mikrokontroler melalui rangkaian sederhana yang terdiri dari resistor pembatas dan kapasitor penyaring sebagai penekan gangguan. Karena sinyal sensor pH memiliki impedansi yang tinggi dan tegangan rendah, sehingga pembacaan dilakukan secara langsung menggunakan fitur ADC internal dengan konfigurasi pembacaan berulang untuk meningkatkan stabilitas data [2]. Unit pemrosesan menggunakan mikrokontroler ESP32, yang memiliki ADC 12-bit dan konektivitas WiFi terintegrasi. ESP32 membaca tegangan analog dari sensor melalui pin ADC, kemudian mengonversinya menjadi nilai pH menggunakan persamaan linier berdasarkan hasil kalibrasi tiga titik dengan larutan buffer standar (pH 4.01, 6.86, dan 9.18). Untuk meminimalkan fluktuasi akibat gangguan listrik dan interferensi lingkungan produksi, sistem menerapkan teknik pemrosesan digital seperti pengambilan rata-rata dan pengambilan sampel berulang [12]. Data yang telah dikonversi kemudian diproses dan dikirim melalui jaringan WiFi menggunakan protokol HTTP berbasis REST API ke server atau platform IoT untuk tujuan pemantauan dan pencatatan data. Interval transmisi data dapat diatur setiap 15 detik untuk menjaga efisiensi bandwidth dan stabilitas koneksi. Sistem catu daya ini menggunakan adaptor switching 220 VAC ke 5 VDC sebagai sumber utamanya. Tegangan 5V tersebut kemudian diatur menjadi 3.3V untuk menyuplai mikrokontroler. Rangkaian catu daya dilengkapi dengan kapasitor *bypass* dan filter untuk menjaga stabilitas tegangan, mengingat akurasi pembacaan ADC sangat dipengaruhi oleh stabilitas tegangan referensi [5]. Sebagai antarmuka pemantauan lokal, sistem ini dilengkapi dengan layar kristal cair (LCD) untuk menampilkan nilai pH secara langsung, yang dapat dilihat tanpa harus melalui platform IoT.

2.3. Desain Perangkat Lunak

Gambar 3 menggambarkan perangkat lunak yang dirancang menggunakan platform cloud ThingSpeak sebagai sarana untuk pengumpulan, penyimpanan, visualisasi, dan analisis data pH secara *real-time*. Platform

ini dipilih karena mendukung komunikasi berbasis HTTP melalui REST API, menyediakan fasilitas penyimpanan data deret waktu, serta dilengkapi dengan fitur analisis berbasis MATLAB yang mendukung pemantauan dan evaluasi proses secara kuantitatif [13], [14].



Gambar 3. Desain Perangkat Lunak Thingspeak

Secara operasional, perangkat lunak ini bekerja dengan menerima data nilai pH numerik yang dikirim oleh mikrokontroler melalui jaringan Wi-Fi menggunakan *Write API Key* yang telah dikonfigurasi. Data tersebut dikirim secara berkala pada interval tertentu dan secara otomatis disimpan pada saluran yang dibuat di server Thingspeak. Setiap saluran dikonfigurasi untuk mewakili parameter proses, seperti nilai pH aktual sebagai variabel utama [4]. Data yang disimpan kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik deret waktu yang diperbarui secara otomatis setiap kali ada pembaruan data. Visualisasi ini digunakan untuk memantau nilai pH selama proses pemantauan larutan *finishing*. Selain fungsi visualisasi, sistem memanfaatkan fitur analitis untuk melakukan pemrosesan data sederhana seperti menghitung rata-rata bergerak dan mengidentifikasi tren kenaikan atau penurunan pH.

Dari perspektif keamanan, sistem ini menggunakan mekanisme otentikasi berbasis kunci API dan pengaturan akses saluran (pribadi atau publik) untuk menjaga integritas dan kerahasiaan data. Dengan pendekatan ini, semua data pemantauan disimpan secara terstruktur dan terdokumentasi dengan baik sebagai bagian dari sistem pengendalian kualitas berbasis data [11], [15]. Secara keseluruhan, desain perangkat lunak berbasis Thingspeak memungkinkan pemantauan pH larutan *finishing* furnitur secara real-time dan tercatat, yang terintegrasi dengan sistem analitis sederhana. Hal ini mendukung penerapan pengendalian mutu berbasis data serta meningkatkan stabilitas proses pelapisan untuk menghasilkan produk furnitur dengan kualitas permukaan yang konsisten [16].

2.4. Sistem Pengujian

Sistem pengujian dilakukan dengan memantau nilai pH selama 7 hari pada larutan *finishing* berbasis air berwarna cokelat kenari merk X yang umum digunakan sebagai pewarna furnitur, yang dicampur dengan larutan *top coat gloss* merk X dan air. Pemantauan pH larutan *finishing*

tersebut dilakukan menggunakan LCD dan platform IoT ThingSpeak. Hasil pemantauan ditampilkan dalam bentuk grafik dan basis data nilai pH larutan *finishing* selama 7 hari. Selanjutnya, data dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan nilai awal, nilai akhir, total penurunan pH ($\Delta pH = pH \text{ hari pertama} - pH \text{ hari ketujuh}$), serta pola penurunan harian dari kedua larutan.

3. Hasil dan Pembahasan

Bab ini menyajikan data hasil pengujian sistem yang meliputi tahap kalibrasi pH meter dengan metode *Three-Point Calibration*, analisa hasil monitoring pH meter, hasil pengukuran melalui sistem IoT, dan analisis sistem IoT.

3.1. Kalibrasi pH Meter

Kalibrasi merupakan langkah krusial dalam memastikan akurasi pembacaan sensor pH. Sensor pH bekerja dengan mendeteksi perubahan tegangan yang dihasilkan oleh elektroda, yang kemudian dikonversi menjadi nilai linear pH oleh mikrokontroler. Karena karakteristik sensor dapat berubah seiring waktu dan suhu, metode *Three-Point Calibration* (kalibrasi tiga titik) adalah standar terbaik untuk mendapatkan garis regresi yang presisi. Sehingga kalibrasi dilakukan sebelum pengambilan data menggunakan tiga larutan buffer standar, yaitu pH 4.01, 6.86, dan 9.18 yang ditunjukkan pada Gambar 4 (a), (b) dan (c)



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. Larutan pH Kalibrasi (a) 4.01, (b) 6.86, (c) 9.18

Prosedur kalibrasi sensor pH Meter dilakukan sebagai berikut:

- Probe dibilas dengan akuades dan dikeringkan dengan tisu sebelum dicelupkan ke setiap buffer.
- Probe dicelupkan ke buffer dan ditunggu hingga pembacaan stabil, kemudian nilai tegangan atau nilai ADC dicatat sebagai rata-rata dari pembacaan berulang.
- Langkah (a) dan (b) diulang untuk ketiga buffer.
- Tiga pasangan data tegangan dan pH dicocokkan dengan regresi linier $pH = m \cdot V + c$ untuk memperoleh slope (m) dan intersep (c) yaitu nilai m, c, dan koefisien determinasi R^2 .
- Parameter m dan c disimpan pada program ESP32 sebagai persamaan konversi. Penggunaan tiga titik memungkinkan pemeriksaan linieritas, karena penyimpangan titik tengah dari garis yang menghubungkan dua titik ekstrem menunjukkan adanya nonlinieritas respons elektroda.

Proses pengujian perangkat pH meter dilakukan melalui metode kalibrasi tiga titik untuk menjamin validitas data pengukuran. Proses ini diawali dengan pengujian pada rentang asam menggunakan larutan standar pH 4.01, di mana instrumen menunjukkan pembacaan yang sangat mendekati nilai referensi, yaitu sebesar 4.03. Pengujian kemudian dilanjutkan pada titik netral dengan larutan standar pH 6.86 yang menghasilkan pembacaan 6.83, serta pada titik basa pH 9.18 dengan hasil pembacaan sebesar 9.20. Konsistensi hasil pada ketiga spektrum ini membuktikan bahwa perangkat memiliki linieritas yang sangat baik dalam merespons perubahan sifat kimia larutan. Verifikasi pembacaan sensor pada larutan buffer ditunjukkan pada Tabel 1

Tabel 1. Verifikasi pembacaan sensor pada larutan buffer standar

pH buffer referensi	pH terbaca sistem	Error (selisih mutlak)
4.01	4.03	0.02
6.86	6.83	0.03
9.18	9.20	0.02

Catatan: error 0.02 sampai 0.03 pH merupakan simpangan pada titik-titik kalibrasi, sedangkan spesifikasi akurasi probe yang digunakan adalah ± 0.5 pH. Oleh karena itu, nilai error tersebut tidak dapat dianggap sebagai akurasi pengukuran pada seluruh rentang dan kondisi

larutan. Secara keseluruhan, evaluasi terhadap performa perangkat menunjukkan bahwa rata-rata simpangan atau *error* yang dihasilkan sangat minimal, yakni hanya berkisar antara 0.02 hingga 0.03 unit pH. Keberhasilan ini mengindikasikan bahwa integrasi teknis antara sensor pH, rangkaian pengkondisi sinyal, serta algoritma pemrosesan pada mikrokontroler telah terkalibrasi secara optimal. Dengan selisih nilai pengukuran yang berada di bawah ambang 0.05, perangkat ini terbukti memiliki tingkat akurasi di atas 99%. Hasil tersebut memberikan kepastian bahwa instrumen memiliki presisi tinggi dan sangat andal untuk diaplikasikan dalam pemantauan kualitas larutan *finishing* furnitur secara *real-time* dan berkelanjutan.

3.2. Monitoring pH Meter

Gambar 5 menjelaskan tahap awal monitoring kualitas larutan *finishing* kayu, sistem sensor pH yang terintegrasi dengan IoT telah berhasil memetakan profil keasaman dari dua jenis campuran yang berbeda. Pemantauan ini dilakukan untuk memastikan kestabilan zat warna dan bahan pengikat (*binder*) sebelum diaplikasikan pada media furnitur.



(a)



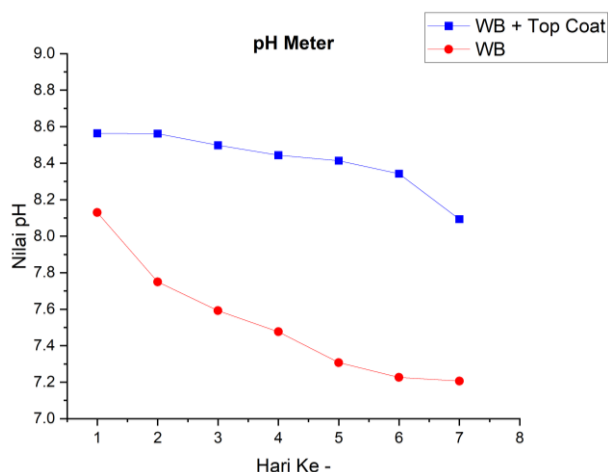
(b)

Gambar 5 Larutan *Finishing* (a) Cat Kayu Waterbased+Top Coat Gloss+Air, (b) Cat Kayu Waterbased+Air

Pada pengujian pertama yang ditunjukkan melalui gambar 5 (a), larutan *finishing* dengan komposisi campuran cat kayu *waterbased*, *topcoat gloss*, dan air menunjukkan nilai pH sebesar 8.56. Tingginya angka ini membuktikan bahwa integrasi *topcoat* ke dalam campuran memberikan pengaruh

signifikan terhadap peningkatan sifat basa (alkalinitas) larutan. Secara fisik, penambahan komponen ini meningkatkan densitas molekul dalam larutan, menjadikannya lebih pekat dan stabil. Kondisi basa pada level 8.56 merupakan parameter yang sangat ideal dalam teknologi pelapisan kayu, karena lingkungan alkali yang kuat berfungsi untuk menjaga resin akrilik serta polimer pendukung di dalam cat agar tetap terdispersi atau terlarut secara sempurna. Hal ini secara efektif mencegah risiko terjadinya koagulasi atau penggumpalan dini yang seringkali merusak tekstur cairan sebelum proses pengecatan dimulai. Sebagai pembanding, pada pengujian kedua yang ditunjukkan melalui gambar 5 (b) menggunakan komposisi cat kayu *waterbased* yang hanya diencerkan dengan air murni. Hasil pengukuran menunjukkan nilai pH yang berada di angka 8.13. Meskipun secara kimiawi angka tersebut masih dikategorikan dalam zona basa, namun terdapat penurunan level alkalinitas yang cukup nyata jika dibandingkan dengan sampel pertama. Fenomena ini mengindikasikan bahwa proses pengenceran murni dengan air cenderung mereduksi konsentrasi agen kimia aktif serta zat penstabil basa yang ada di dalam formula cat asli, sehingga profil kebiasaannya menjadi lebih rendah atau melandai.

Gambar 6 merupakan hasil pemantauan yang dilakukan oleh sistem monitoring berbasis IoT selama tujuh hari, ditemukan perbedaan karakteristik yang signifikan antara larutan *finishing* campuran *waterbased*, *top coat gloss*, dan air (WB+TC) dengan larutan *finishing* campuran *waterbased* dan air (WB) standar.



Gambar 6. Grafik Perbandingan Hasil Monitoring pH Meter

Perbedaan pola penurunan pH kedua larutan pada Gambar 6 dirangkum secara numerik pada Tabel 2. Selisih pH antara larutan WB+TC dan WB melebar dari 0.43 pada hari pertama menjadi 1.11 pada hari keenam, kemudian menyempit menjadi 0.88 pada hari ketujuh karena larutan WB+TC turun sekitar 0.25 dalam sehari terakhir. Larutan WB mengalami penurunan terbesar pada 24 jam pertama sebesar 0.38 lalu melandai, sedangkan larutan WB+TC

bertahan pada pH 8.56 hingga hari kedua. Total penurunan pH selama tujuh hari adalah 0.47 untuk WB+TC dan 0.92 untuk WB seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2

Tabel 2. Nilai pH harian larutan WB+TC dan WB

Hari ke-	pH WB+TC	pH WB	Selisih pH
1	8.56	8.13	0.43
2	8.56	7.75	0.81
3	8.49	7.59	0.90
4	8.44	7.48	0.96
5	8.41	7.31	1.10
6	8.34	7.23	1.11
7	8.09	7.21	0.88
Total ΔpH	0.47	0.92	–

Sistem berhasil merekam degradasi nilai pH secara *real-time*, yang memberikan gambaran jelas mengenai stabilitas kimiawi kedua campuran tersebut. Pada awal pengamatan, larutan WB+TC menunjukkan tingkat basa yang lebih tinggi dengan nilai pH 8.56. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan komponen *top coat gloss* memberikan beban polimer dan kandungan zat penstabil yang lebih padat, sehingga menciptakan lingkungan kimia yang lebih kuat. Sebaliknya, larutan WB standar memulai pengamatan dengan nilai pH yang lebih rendah yaitu 8.13. Perbedaan awal sebesar 0.43, hasil ini menunjukkan bahwa pengenceran cat kayu hanya dengan air murni menghasilkan larutan yang lebih rentan terhadap perubahan keasaman sejak menit pertama pencampuran. Memasuki hari kedua hingga keempat, sistem monitoring menangkap fenomena menarik pada larutan WB+TC. Larutan ini mampu mempertahankan nilai pH di angka 8.56 hingga hari kedua sebelum turun perlahan ke angka 8.44 pada hari keempat. Kemampuan retensi ini membuktikan bahwa kandungan resin dalam *top coat gloss* berfungsi sebagai penyangga atau buffer yang efektif, memperlambat proses penguapan zat penstabil basa ke udara.

Kondisi berbeda terlihat pada grafik larutan WB mengalami penurunan nilai pH yang tajam sebesar 0.38 hanya dalam waktu 24 jam pertama dari 8.13 ke 7.75. Tanpa perlindungan dari zat pengikat tambahan yang ada pada *top coat*, molekul air dalam campuran WB lebih cepat bereaksi dengan karbondioksida (CO_2) dari lingkungan sekitar. Reaksi ini memicu pembentukan asam karbonat lemah yang secara agresif menetralkan sifat basa larutan, sehingga grafik menurun secara konsisten setiap harinya. Pada akhir periode pengamatan di hari ketujuh, larutan WB mencapai titik terendah pada pH 7.21, mendekati ambang batas netral. Dalam industri furnitur, kondisi pH yang mendekati netral atau asam dapat memicu koagulasi (penggumpalan) resin, yang pada akhirnya akan merusak daya sebar dan kekuatan rekat cat pada permukaan kayu. Sementara itu, larutan WB+TC tetap berada pada koridor basa yang relatif aman di angka 8.09. Keberhasilan sistem monitoring berbasis IoT dalam memetakan fluktuasi ini sangat krusial. Data yang tersaji secara detail hingga dua angka di belakang koma

menunjukkan bahwa intervensi teknologi sangat diperlukan dalam kontrol kualitas furnitur. Dengan adanya data *real-time* ini, pengrajin atau industri furnitur dapat menentukan waktu yang tepat untuk melakukan *re-balancing* (penyeimbangan kembali) larutan atau memutuskan kapan larutan sudah tidak layak pakai, guna menjamin hasil akhir furnitur tetap halus, kuat, dan mengkilap secara konsisten.

3.3. Hasil Pengukuran melalui Sistem IoT

Pengukuran melalui sistem IoT dilakukan dengan mengirimkan nilai pH dari ESP32 ke platform ThingSpeak setiap 15 detik selama tujuh hari pengamatan. Pada interval tersebut, setiap larutan menghasilkan 5760 data per hari atau 40320 data selama tujuh hari, sehingga resolusi waktunya jauh lebih rapat dibandingkan pencatatan manual. Ringkasan kinerja pengiriman dan kualitas data yang tercatat pada ThingSpeak disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Ringkasan data pH yang tercatat pada ThingSpeak selama tujuh hari

Parameter	WB+TC	WB
Data teoretis (interval 15 detik)	40320	40320
Data tercatat	32284	37137
Kelengkapan data (%)	80.07%	92.11%

Data pada Tabel 3 diperlukan untuk menilai keandalan sistem. Kelengkapan data menggambarkan kestabilan koneksi WiFi dan server, celah data terpanjang menunjukkan lamanya sistem tidak merekam, sedangkan simpangan baku jangka pendek merepresentasikan derau pada pembacaan sensor dan ADC. Dengan interval pengiriman 15 detik, jumlah data teoretis yang seharusnya diterima masing-masing larutan adalah 40.320 data. Pada larutan WB+TC, data yang berhasil tercatat sebanyak 32.284 data, sehingga tingkat kelengkapan datanya mencapai 80,07%. Sementara itu, larutan WB berhasil merekam 37.137 data dengan tingkat kelengkapan 92,11%. Dengan demikian, terdapat 8.036 data yang tidak tercatat pada larutan WB+TC dan 3.183 data pada larutan WB. Jika dikonversi ke waktu pengiriman, jumlah tersebut setara dengan sekitar 33,5 jam dan 13,3 jam tanpa pencatatan dari total 168 jam pengamatan. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem IoT mampu merekam sebagian besar data pH secara berkala, tetapi belum sepenuhnya kontinu. Kehilangan data pada larutan WB+TC sekitar 2,5 kali lebih banyak dibandingkan larutan WB, padahal kedua larutan dipantau dengan konfigurasi perangkat yang sama. Kehilangan data tersebut kemungkinan berasal dari faktor komunikasi, seperti kestabilan sinyal WiFi, pemutusan koneksi sementara, penolakan penulisan oleh server ThingSpeak, atau restart mikrokontroler akibat gangguan catu daya. Namun, penyebab pastinya belum dapat ditentukan karena sistem tidak dilengkapi pencatatan status koneksi maupun penyimpanan data lokal.

Meskipun demikian, tingkat kelengkapan tersebut masih memadai untuk menggambarkan tren penurunan pH harian pada Tabel 2, karena perubahan pH larutan berlangsung dalam orde hari, bukan menit. Akan tetapi, kehilangan data yang berkelanjutan dapat menyebabkan perubahan pH yang terjadi dalam periode tersebut tidak terekam. Oleh karena itu, penambahan penyimpanan data lokal, mekanisme pengiriman ulang otomatis, dan pemantauan status koneksi diperlukan supaya sistem mampu memberikan pemantauan yang kontinu.

3.4. Analisis Sistem IoT

Ditinjau dari arsitekturnya, sistem terdiri dari tiga lapisan IoT, yaitu lapisan persepsi (probe pH dan ADC ESP32), lapisan jaringan (WiFi dengan HTTP REST API), dan lapisan aplikasi (ThingSpeak). Konfigurasi ini sederhana, berbiaya rendah, dan mudah direplikasi pada praktikum maupun bengkel *finishing* skala kecil. LCD lokal berfungsi sebagai tampilan cadangan sehingga nilai pH tetap dapat dibaca ketika jaringan terputus. Di sisi lain, seluruh penyimpanan, visualisasi, dan analisis tren bergantung pada konektivitas internet, dan pada rancangan yang dijelaskan belum terdapat penyimpanan data lokal yang menampung data ketika pengiriman gagal. Pada lapisan persepsi, probe elektroda kaca memiliki impedansi keluaran yang sangat tinggi dan menghasilkan sinyal berorde milivolt, sekitar 59 mV per satuan pH pada suhu 25 °C. Penghubungan langsung ke ADC ESP32 tanpa penguat atau buffer impedansi tinggi berisiko menimbulkan kesalahan pembebanan, derau, dan pembacaan di luar rentang ADC yang linear. Resolusi kuantisasi ADC 12-bit (sekitar 0.8 mV per langkah pada 3.3 V) bukan pembatas utama, tetapi keterbatasan justru berasal dari linearitas ADC, derau, dan stabilitas elektroda. Oleh karena itu, dua angka di belakang koma pada tampilan menunjukkan resolusi, bukan akurasi pengukuran, dan penggunaan rangkaian pengkondisi sinyal atau buffer impedansi tinggi direkomendasikan.

Verifikasi pada Tabel 1 dilakukan pada titik yang sama dengan titik kalibrasi, sehingga selisih 0.02–0.03 pH menunjukkan kualitas pencocokan regresi, bukan akurasi pada larutan uji. Dengan spesifikasi probe ± 0.5 pH, tingkat akurasi pada seluruh rentang pengukuran belum dapat disimpulkan dari Tabel 1 saja. Cat *waterbase* juga berupa dispersi polimer berpigmen yang berbeda dari larutan buffer, partikel dan pigmen dapat melapisi membran kaca dan menggeser respons elektroda selama tujuh hari perendaman. Selain itu, sistem belum dilengkapi sensor suhu, padahal sensitivitas elektroda dan pH larutan bergantung pada suhu. Akibatnya, penurunan pH pada Tabel 2 dapat merupakan gabungan perubahan kimiawi larutan dan pergeseran (*drift*) sensor. Perbandingan dengan pH meter referensi pada awal dan akhir pengamatan, serta pengecekan ulang pada larutan buffer setelah tujuh hari, diperlukan untuk memisahkan kedua efek tersebut.

Pada lapisan jaringan dan *cloud*, interval pengiriman 15 detik sama dengan batas minimum pembaruan pada lisensi gratis ThingSpeak, yang juga membatasi jumlah pesan sebesar 3 juta per tahun dan jumlah kanal sebanyak empat [17]. Untuk pengujian tujuh hari, kebutuhan sekitar 80640 pesan (dua kanal terpisah) masih di bawah 3% dari kuota tahunan. Namun, pemantauan kontinu satu larutan selama satu tahun pada interval yang sama memerlukan sekitar 2.1 juta pesan, sehingga dua larutan sekaligus akan melampaui kuota. Karena pH berubah dalam orde hari (Tabel 2), interval 1–5 menit sudah memadai untuk memantau tren dan mengurangi beban data, sedangkan interval 15 detik lebih bermanfaat untuk menelusuri gangguan sesaat. Pengiriman melalui HTTP tanpa enkripsi juga membuat *Write API Key* dapat terbaca di jaringan, sehingga penggunaan HTTPS atau protokol MQTT dengan TLS lebih dianjurkan [6]. Secara fungsional, sistem saat ini berperan sebagai perekam dan penampil data, belum sebagai sistem peringatan dini. Apabila ambang pH 8.0 yang direkomendasikan pada bagian 4 diterapkan pada data Tabel 2, larutan WB telah melewati ambang tersebut antara hari pertama dan kedua (8.13 menjadi 7.75), sedangkan WB+TC baru mendekatinya pada hari ketujuh (8.09). Laju penurunan rata-rata selama enam interval harian adalah sekitar 0.15 pH/hari untuk WB dan 0.08 pH/hari untuk WB+TC, atau sekitar dua kali lebih cepat pada WB. Tanpa notifikasi otomatis, informasi ini baru diketahui ketika membuka *dashboard*. Keterbatasan penelitian ini meliputi satu kali pengamatan untuk tiap komposisi tanpa ulangan, tidak adanya kompensasi suhu, dan belum adanya alat ukur referensi sebagai pembanding. Pengembangan selanjutnya mencakup penambahan sensor suhu, rangkaian buffer impedansi tinggi, penyimpanan data lokal, alarm otomatis, komunikasi terenkripsi, serta pengulangan pengamatan untuk menguji reproduktibilitas hasil.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Campuran larutan *finishing* yang menggunakan *Top Coat Gloss* (WB+TC) terbukti jauh lebih stabil secara kimiawi dibandingkan campuran yang hanya menggunakan air saja. Hal ini ditunjukkan dengan total penurunan pH pada larutan WB+TC yang lebih kecil sebesar 0.47 dibandingkan larutan WB sebesar 0.92 selama periode 7 hari.
2. Larutan WB mengalami laju degradasi tercepat pada 24 jam pertama, sedangkan larutan WB+TC mampu mempertahankan nilai pH konstan pada dua hari pertama. Hal ini mengonfirmasi bahwa kandungan resin tambahan dalam *top coat* memberikan perlindungan ekstra terhadap penguapan zat penstabil basa dan reaksi dengan udara luar.
3. Sistem monitoring pH berbasis IoT yang dirancang telah berhasil menjalankan fungsinya untuk merekam fluktuasi nilai pH hingga dua angka di belakang koma secara *real-time*. Teknologi ini memberikan kemudahan dalam pemantauan jangka panjang yang sulit dilakukan secara manual.
4. Penggunaan sistem monitoring ini sangat direkomendasikan dalam proses produksi furnitur pada praktikum di dunia pendidikan maupun skala industri. Dengan mempertahankan pH pada rentang basa di atas 8.0, risiko terjadinya koagulasi resin dan penurunan daya rekat dapat dihindari, sehingga kualitas kilap dan ketahanan lapisan furnitur tetap terjaga secara konsisten.
5. Sistem IoT telah berfungsi merekam dan menampilkan data pH secara berkala melalui ThingSpeak, namun keandalannya perlu diperkuat melalui validasi dengan alat ukur referensi, kompensasi suhu, penyimpanan data lokal, dan alarm otomatis agar deteksi dini terhadap penurunan pH larutan *finishing* dapat terwujud.

Referensi

- [1] T. D. P. RENGGA NIRWANA, NINA PARAMITHA, RAHMAT NOVRIANDA DASMEN, "ALAT PEMBERSIH KARAT OTOMATIS MENGGUNAKAN SENSOR PH SEBAGAI PENGUKUR TINGKAT KEASAMAN CAIRAN BERBASIS IOT," *Rang Tek. J.*, vol. 8, no. 2, pp. 257–264, 2025.
- [2] R. Al Mamun, M. Ashik-e-rabbani, and M. Haque, "Smart Agricultural Technology IoT-based real-time biofloc monitoring and controlling system," *Smart Agric. Technol.*, vol. 9, no. September, p. 100598, 2024, doi: 10.1016/j.atech.2024.100598.
- [3] J. Joseph, "An IoT-enabled , all-solid electrode , portable pH Meter for Soil pH," *Meas. J.*, vol. 271, no. August 2025, p. 120966, 2026, doi: 10.1016/j.measurement.2026.120966.
- [4] J. C. Campelo, J. V Capella, R. Ors, and M. Peris, "IoT Technologies in Chemical Analysis Systems : Application to Potassium Monitoring in Water," *MDPI*, pp. 1–16, 2022, doi: 10.3390/s22030842.
- [5] U. N. Khasanah, M. M. Fauzi, and F. N. Putra, "IoT-Based Water Quality Monitoring System Using ESP32 with NSF-WQI Method on Various Water Sources," *J. Teknlogi Inform. dan Komput. MH. Thamrin*, vol. 12, no. 1, pp. 75–83, 2026, doi: 10.37012/jtik.v12i1.3185.
- [6] S. A. Rachmini, M. R. Rasyid, C. N. Insani, and A. Rabbani, "Rancang Bangun dan Evaluasi Sistem Smart-Ponik Untuk Monitoring dan Automatisasi Tanaman Hidroponik Berbasis IOT dengan Protokol MQTT," *J. Appl. Comput. Sci. Technol.*, vol. 6, no. 2, pp. 141–148, 2025.
- [7] R. A. Al-darwish, A. N. Abdalla, H. Tao, X. Tang, and S. Li, "A comprehensive review of intelligent low power internet of things communication technologies for sustainable smart buildings," *J. Eng. Res.*, 2026, doi: https://doi.org/10.1016/j.jer.2026.06.037.
- [8] D. Tsiplanitis, M. Filippou, K. Lavidas, and V. Komis, "ScienceDirect Real-time Monitoring of IoT-based Educational Aquatic Microecosystem," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 257, pp. 801–808, 2025, doi: 10.1016/j.procs.2025.03.103.
- [9] Y. Xie, X. He, R. Yu, Y. Jin, and L. Tan, "Portable pH meter-based competitive immunoassay of E-selectin using urease-encapsulated metal-organic frameworks," *Talanta*, vol. 287, p. 127613, 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.talanta.2025.127613.
- [10] D. Muhamad Febrian Soambaton, Abdurrahman Hamid Al-Azhari, "MONITORING KOLAM IKAN NILA BERBASIS IoT," *J. Inform. dan Tek. Elektro Terap.*, vol. 12, no. 2, pp. 919–926, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i2.4021.
- [11] W. Suci, L. Nasution, P. Nusa, U. E. Unggul, and S. P. Mandiri, "IMPLEMENTATION OF THE INTERNET OF THINGS (IOT) FOR REMOTE LIGHT CONTROL USING NODEMCU ESP8266 AND THINGSPEAK VIA WEBSITE-BASED INTERNET," *J. Comput. Sci. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 33–39, 2023, doi: 10.54840/jcstech.v3i1.100.
- [12] H. M. Forhad *et al.*, "Heliyon IoT based real-time water quality monitoring system in water treatment plants (WTPs)," *Heliyon*, vol. 10, no. 23, p. e40746, 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e40746.
- [13] K. Mounika and S. V. Akram, "Wireless IoT-based continuous ECG monitoring using ESP32 and thingspeak based performance analysis across age groups," *Sensors Actuators A Phys.*, vol. 399, p. 117392, 2026, doi: https://doi.org/10.1016/j.sna.2025.117392.
- [14] A. Morchid, Z. Said, A. Y. Abdelaziz, P. Siano, and H. Qjidaa, "Fuzzy logic-based IoT system for optimizing irrigation with cloud computing: Enhancing water sustainability in smart agriculture," *Smart Agric. Technol.*, vol. 11, p. 100979, 2025, doi: https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.100979.
- [15] P. Singh, L. Ge, G. Sankar, and A. Sadhu, "Digital twinning framework for advanced remote dam monitoring using Internet-of-Things," *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 53, pp. 1–15, 2026, doi: https://doi.org/10.1139/cjce-2025-0283.
- [16] S. A. Devita Gude, Wahab Musa, "Rancang Bangun Sistem Pengontrol dan Monitoring pH Air Hidroponik Menggunakan Aplikasi Blynk," *Jambura J. Electr. Electron. Eng.*, vol. 6, 2024.
- [17] ThingSpeak Licensing FAQ, "Internet of Things," 2026. https://thingspeak.mathworks.com/pages/license_faq (accessed Sep. 28, 2026).