

Pemantauan pH Produk *Skincare* berbasis IoT: Solusi untuk Keamanan Konsumen

Luntungan Stephen Pieters ^{1,*}

¹ Program Studi Teknologi Informasi, Universitas Pradita, Indonesia

* Correspondence: luntungan.stephen@student.pradita.ac.id

Copyright: © 2025 by the authors

Received: 24 Januari 2025 | Revised: 4 Maret 2025 | Accepted: 30 Maret 2025 | Published: 16 April 2025

Abstrak

Produk *skincare* memainkan peran penting dalam kesehatan kulit, namun sering terjadi ketidaksesuaian antara kandungan produk dan informasi pada label, yang dapat membahayakan konsumen. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pemantauan pH berbasis IoT dengan sensor pH digital dan spektroskopi UV-Vis untuk mendeteksi perubahan pH secara *real-time*, memberikan data yang lebih akurat, serta meningkatkan efisiensi dalam pengawasan kualitas produk *skincare*. Metode yang digunakan adalah pendekatan pengembangan dengan model prototipe, yang mengintegrasikan sistem IoT dengan sensor pH digital dan spektroskopi UV-Vis. Sistem ini dirancang untuk mengukur pH produk *skincare* berdasarkan prinsip bahwa setiap senyawa menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu. Sampel produk yang diuji terdiri dari lima jenis *skincare* pembersih wajah, toner, serum, pelembap, dan tabir surya yang disinari dengan cahaya UV-Vis untuk mengukur nilai absorbansi. Data pH yang diperoleh dianalisis secara statistik untuk menghitung deviasi pH dibandingkan dengan nilai pada label kemasan. Hasil menunjukkan sistem ini mampu mendeteksi perubahan pH secara *real-time* dengan rata-rata deviasi di bawah 0,2 untuk sebagian besar produk, meskipun serum menunjukkan deviasi lebih besar. Sistem ini meningkatkan transparansi dan pengawasan kualitas, membantu produsen memastikan produk memenuhi standar keamanan dan memberikan konsumen kepercayaan dalam memilih produk yang aman.

Kata kunci: iot; ph; produk *skincare*; sensor ph; spektroskopi

Abstract

Skincare products play an important role in skin health, but there is often a discrepancy between the product content and the information on the label, which can harm consumers. This research aims to develop an IoT-based pH monitoring system with a digital pH sensor and UV-Vis spectroscopy to detect changes in pH in real-time, provide more accurate data, and improve efficiency in monitoring the quality of skincare products. The method used is a development approach with a prototype model, which integrates an IoT system with a digital pH sensor and UV-Vis spectroscopy. The system is designed to measure the pH of skincare products based on the principle that each compound absorbs light at a specific wavelength. The tested product samples consist of five types of skincare facial cleansers, toners, serums, moisturizers, and sunscreens that are illuminated with UV-Vis light to measure absorbance values. The pH data obtained was statistically analyzed to calculate the pH deviation compared to the value on the packaging label. Results showed the system was able to detect real-time pH changes with an average deviation below 0.2 for most products, although serums showed larger deviations. The system improves transparency and quality control, helping manufacturers ensure products meet safety standards and giving consumers confidence in choosing safe products.

Keywords: iot; ph; skincare products; ph sensor; spectroscopy



PENDAHULUAN

Revolusi teknologi informasi telah mendorong berbagai sektor untuk mengadopsi teknologi canggih guna meningkatkan efisiensi dan produktivitas (Christanto et al., 2020). Salah satu teknologi yang berkembang pesat adalah *Internet of Things* (IoT), yang memungkinkan berbagai perangkat untuk saling terhubung dan berkomunikasi melalui jaringan internet (Margana & Pauzan, 2024). IoT dapat digunakan untuk memantau berbagai parameter lingkungan secara *real-time*, termasuk pH, yang merupakan indikator penting dalam banyak aplikasi industri. Selain itu, pendekatan berbasis spektroskopi dapat digunakan untuk memberikan informasi tambahan mengenai komposisi kimia dan perubahan formulasi yang memengaruhi pH dalam produk *skincare*. Pemantauan pH berbasis IoT memungkinkan pengukuran yang lebih akurat dan efisien, serta memberikan data yang dapat diakses secara langsung oleh pengguna melalui perangkat pintar (Agustin et al., 2025). Dengan sistem ini, data pH dapat dikumpulkan secara otomatis dan dianalisis untuk memberikan wawasan yang lebih baik tentang kondisi lingkungan atau produk yang sedang dipantau.

Pemantauan parameter kritis seperti pH telah banyak diteliti dalam berbagai industri, termasuk pertanian, pengolahan makanan, dan pengelolaan air, di mana pengukuran pH berperan penting dalam menjaga kualitas dan keselamatan produk. Namun, dalam industri *Skincare*, pemantauan pH memiliki urgensi yang lebih tinggi karena pH yang tidak sesuai dapat berdampak langsung pada kesehatan kulit dan efektivitas bahan aktif dalam produk (Agustin et al., 2025). pH adalah parameter yang mencerminkan kondisi keasaman atau kebasaan suatu larutan, dan dalam produk *skincare*, nilai pH yang tepat sangat berperan dalam menjaga stabilitas formulasi serta mencegah kerusakan pada kulit (Rico et al., 2024).

pH yang tidak sesuai dalam produk *skincare* dapat menyebabkan iritasi kulit dan mengurangi efektivitas bahan aktif, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi kepuasan konsumen (Hasan et al., 2024; Amelya et al., 2024). Produk *skincare* idealnya memiliki pH yang mendukung keseimbangan alami kulit, yaitu sekitar 4,5–5,5 untuk menghindari iritasi dan gangguan mikrobiota kulit (Janssens et al., 2025). Spektroskopi dapat digunakan untuk mendeteksi interaksi zat aktif dalam formulasi *skincare* dengan pH, sehingga dapat memberikan pemahaman yang lebih dalam mengenai stabilitas produk dan potensi reaksi yang tidak diinginkan. Penelitian oleh Luki et al., (2021), Silalahi & Soemartono (2024) dan Agustin et al. (2025), menunjukkan bahwa kandungan zat berbahaya dalam produk *skincare* dapat berinteraksi dengan pH. Oleh karena itu, pemantauan pH secara *real-time* dan berkelanjutan sangat penting untuk memastikan bahwa produk *skincare* tetap dalam kondisi optimal selama proses produksi, penyimpanan, dan distribusi.

Meskipun banyak penelitian telah dilakukan mengenai pemantauan parameter lingkungan menggunakan IoT, kajian yang secara khusus berfokus pada pengembangan sistem pemantauan pH berbasis IoT yang terintegrasi dengan analisis spektroskopi pada produk *skincare* masih terbatas (Suma et al., 2024). Metode konvensional memakan waktu juga membutuhkan tenaga kerja yang signifikan, terutama dalam skala produksi yang besar (Suprpto et al., 2020). Misalnya, dalam proses produksi *skincare*, pengukuran pH secara manual sangat tidak efisien dan berisiko menghasilkan data yang tidak konsisten. Ketergantungan pada pengukuran individu yang bersifat subjektif dapat menyebabkan kesalahan dalam penilaian kualitas produk, yang pada gilirannya dapat berdampak negatif pada kepuasan pelanggan dan reputasi merek (Rico et al., 2024).

Integrasi teknologi IoT dalam sistem pemantauan pH menawarkan solusi yang revolusioner (Pratama et al., 2023). Dengan menggunakan modul komunikasi NodeMCU ESP8266, sistem pemantauan pH dapat diotomatisasi, memungkinkan pengumpulan data secara terus-menerus dan akses jarak jauh (Akbar & Gunawan, 2020). Keunggulan utama penelitian ini dibandingkan studi sebelumnya adalah integrasi *real-time* data IoT dengan analisis spektroskopi untuk memberikan pemantauan pH yang lebih komprehensif dan akurat

dalam industri *skincare*. Sensor pH yang terhubung ke jaringan IoT dapat mengirimkan data secara *real-time* ke *platform* berbasis *cloud*, di mana data tersebut dapat dianalisis dan dipantau melalui perangkat pintar seperti *smartphone* atau komputer (Dhanaraju et al., 2022). Selain itu, sistem ini memanfaatkan analisis spektroskopi untuk mendeteksi perubahan dalam formulasi produk yang dapat memengaruhi pH, sehingga meningkatkan keandalan pemantauan dan kontrol kualitas (Marshalia, 2024). Sistem ini tidak hanya meningkatkan akurasi data, tetapi juga memberikan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional, serta mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual (Phukpattanachai et al., 2024). Dengan sistem ini, produsen *skincare* dapat dengan cepat mengidentifikasi dan mengatasi masalah yang berkaitan dengan pH, sehingga menjaga kualitas produk secara konsisten.

Berbagai teori mendukung pengembangan sistem pemantauan pH berbasis IoT. Teori sistem sensor menjelaskan bagaimana sensor pH bekerja dalam mengumpulkan data lingkungan secara akurat dan mengirimkannya melalui jaringan IoT (Sari et al., 2021). Selain itu, teori big data digunakan dalam penelitian ini untuk menyimpan dan mengelola data pemantauan pH dalam jumlah besar, yang kemudian dianalisis menggunakan *machine learning* untuk mengidentifikasi pola perubahan pH dalam formulasi *skincare* (Rico et al., 2024). Dengan kombinasi big data dan *machine learning*, sistem ini mampu memberikan prediksi tren pH, memungkinkan tindakan pencegahan lebih dini dalam produksi dan penyimpanan produk.

Penggunaan IoT dalam pemantauan lingkungan dapat meningkatkan responsivitas dan efisiensi operasional, yang mendukung pengambilan keputusan berbasis data (Erwin et al., 2023; Gidado et al., 2022). Sementara itu, kajian yang secara khusus berfokus pada pengembangan sistem pemantauan pH berbasis IoT pada produk *skincare* masih terbatas (Suma et al., 2024). Sebagian besar penelitian cenderung menyoroiti aspek teknis tertentu, seperti pengembangan sensor atau algoritma analisis data, tanpa memberikan perhatian yang cukup pada pembuatan prototipe yang dapat diimplementasikan. Dalam nyata, seperti yang ditunjukkan oleh Ladarola (2022) dan Ganji et al. (2024). Selain itu, banyak penelitian yang tidak mempertimbangkan kebutuhan pengguna akhir dalam desain antarmuka, sehingga mengurangi efektivitas sistem dalam aplikasi praktis.

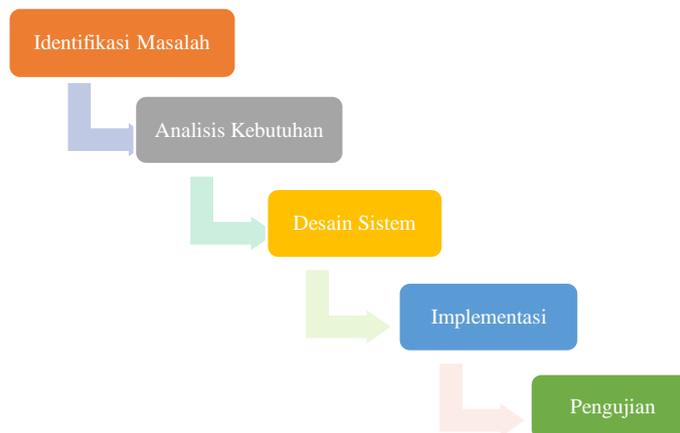
Ketidakcocokan antara teknologi yang dikembangkan dan kebutuhan pengguna dapat mengakibatkan rendahnya adopsi sistem pemantauan pH berbasis IoT dalam industri *skincare*. Hal ini menunjukkan celah signifikan dalam penelitian yang perlu diisi untuk menciptakan solusi yang lebih praktis dan responsif terhadap kebutuhan. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan pH berbasis IoT yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan pengguna secara praktis dan efisien dalam industri *skincare*. Dengan pendekatan yang komprehensif ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap inovasi teknologi pemantauan pH dan menjadi solusi yang relevan untuk berbagai kebutuhan dalam industri *skincare*.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (*Research and Development*) yang bertujuan untuk membangun sistem berbasis *Internet of Things* (IoT) guna memantau pH produk *skincare* secara *real-time*. Sistem ini mengintegrasikan sensor pH dengan rentang pengukuran 0-14 dan akurasi $\pm 0,1$ pH, serta metode spektroskopi UV-Vis untuk meningkatkan akurasi pengukuran. Alur penelitian menggunakan model *waterfall* yang terdiri dari: identifikasi masalah, analisis kebutuhan, desain sistem, implementasi dan pengujian.

Penelitian ini menggunakan model pengembangan perangkat lunak dengan metode *waterfall*, seperti yang digambarkan pada gambar 1. Alur penelitian terdiri dari lima tahap utama. Tahap pertama adalah identifikasi masalah, di mana penelitian ini mengkaji keterbatasan dalam pemantauan pH di industri *skincare* serta kebutuhan akan metode yang lebih akurat dan efisien. Permasalahan utama yang diangkat adalah ketidakakuratan

pengukuran pH menggunakan metode konvensional, seperti kertas lakmus, yang dapat memengaruhi kualitas produk *skincare*.



Gambar 1. Alur penelitian model *waterfall*

Selanjutnya, tahap analisis kebutuhan dilakukan untuk menentukan perangkat keras dan lunak yang diperlukan dalam penelitian ini. Beberapa perangkat yang digunakan meliputi sensor pH digital, spektroskopi UV-Vis, serta *platform IoT* untuk pemantauan data *secara real-time*. Selain itu, kebutuhan perangkat lunak juga dianalisis, termasuk algoritma pemrosesan data dan sistem penyimpanan database.

Tahap berikutnya adalah desain sistem, yang mencakup perancangan arsitektur sistem, integrasi antara sensor pH dan spektroskopi UV-Vis dengan *platform IoT*, serta pengembangan algoritma pemrosesan data. Pada tahap ini, skema sistem dibuat agar sensor dapat terhubung ke perangkat pemantauan berbasis IoT, sehingga data pH yang dikumpulkan dapat dianalisis secara lebih efisien.

Setelah desain sistem selesai, tahap implementasi dilakukan dengan mengembangkan sistem, melakukan kalibrasi sensor, serta mengintegrasikan teknologi IoT untuk pemantauan data secara langsung. Implementasi ini mencakup pengujian awal koneksi sensor dengan *platform* pemantauan, memastikan data dapat dikirim secara *real-time*, serta menguji kompatibilitas antara sensor pH dan spektroskopi UV-Vis dalam satu sistem yang terpadu.

Tahap terakhir adalah pengujian dan evaluasi, yang bertujuan untuk memastikan keakuratan dan keandalan sistem dalam kondisi laboratorium yang terkontrol. Dalam tahap ini, dilakukan pengujian terhadap lima jenis produk *skincare* menggunakan sensor pH digital dan spektroskopi UV-Vis, dengan setiap sampel diuji sebanyak tiga kali, sehingga menghasilkan total lima belas pengukuran. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dengan pH pada label kemasan, kertas lakmus, serta standar ISO 4316:1977 dengan toleransi ± 0.1 pH. Selain itu, evaluasi sistem juga dilakukan untuk mengukur keandalan pengiriman data *real-time*, presisi pengukuran, serta ketahanan sistem terhadap faktor lingkungan.

Data yang diperoleh dianalisis menggunakan metode statistik deskriptif dan komparatif. *Python* digunakan untuk memvisualisasikan tren dan hubungan antara pH serta zat aktif yang terdeteksi dalam produk *skincare*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan sistem pemantauan pH berbasis IoT yang lebih akurat, sehingga dapat dijadikan referensi dalam pengembangan produk *skincare* yang sesuai dengan standar industri.

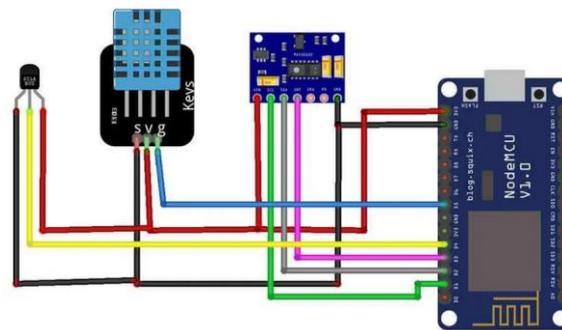
HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan pH berbasis IoT menggunakan NodeMCU ESP8266, sensor pH digital, dan spektroskopi UV-Vis untuk meningkatkan

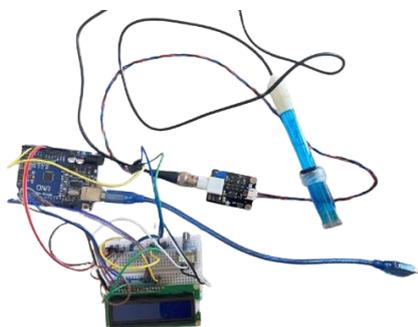
akurasi. Data dikirim ke platform berbasis Python untuk diolah dan divisualisasikan secara *real-time*. Sistem mengukur pH lima jenis produk *skincare* dengan tiga kali pengujian per sampel guna meningkatkan keandalan data. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dengan pH pada label kemasan dan kertas lakmus sesuai standar ISO 4316:1977 dengan toleransi ± 0.1 pH.

Gambar 2 menunjukkan skema rangkaian yang menghubungkan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dengan sensor pH untuk produk *skincare*, sementara gambar 3 menampilkan rancangan alat jadi yang mencakup keseluruhan sistem pemantauan pH. NodeMCU ESP8266, yang beroperasi pada 3,3V dan memiliki satu pin analog (A0), dihubungkan ke sensor pH menggunakan kabel. Mikrokontroler ini mendukung komunikasi nirkabel, sehingga data pengukuran dapat dikirimkan secara *real-time* ke platform IoT atau ditampilkan melalui antarmuka web, memungkinkan pemantauan pH yang efisien dan akses data yang lebih mudah bagi pengguna.



Gambar 2. Skema alat sensor ph *skincare*

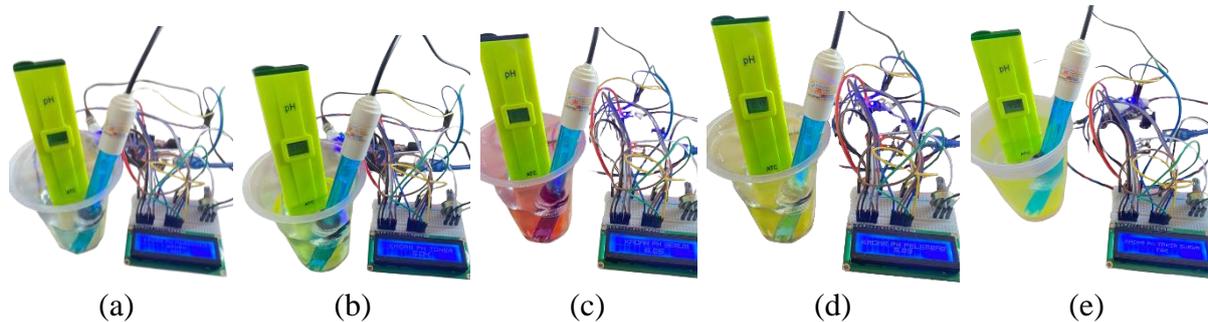
Skema rangkaian yang ditunjukkan pada Gambar 2 menggambarkan koneksi antara mikrokontroler NodeMCU ESP8266, sensor pH, dan komponen pendukung lainnya. NodeMCU ESP8266 berfungsi sebagai pusat pemrosesan data dan pengirim informasi ke platform IoT melalui koneksi Wi-Fi. Sensor pH terhubung ke pin analog (A0) pada NodeMCU untuk membaca tegangan yang berhubungan dengan tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan *skincare*.



Gambar 3. Rancangan alat sensor ph *skincare*

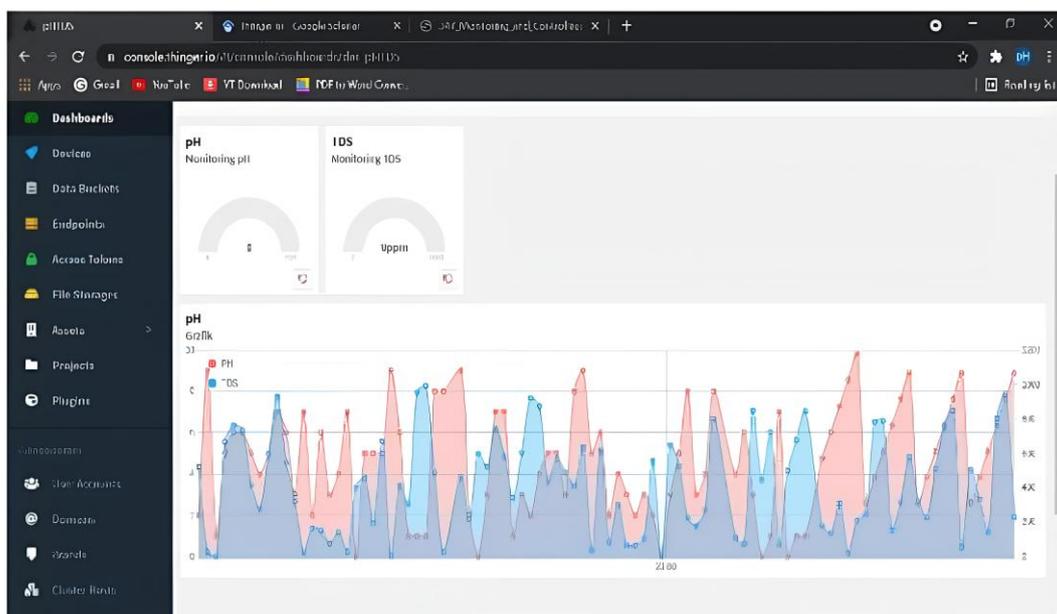
Gambar 3 menampilkan prototipe sistem pemantauan pH dengan sensor terhubung ke NodeMCU melalui kabel. Sensor terendam dalam larutan sampel untuk membaca nilai pH. Modul OLED/LCD menampilkan hasil langsung tanpa akses ke platform IoT. Data dikalibrasi sebelum dikirim ke *server cloud* atau aplikasi web. Sistem ini memungkinkan pemantauan pH secara *real-time*. Rancangan alat pada Gambar 3 digunakan untuk mengukur pH lima produk *skincare* dengan sensor pH dan spektroskopi. Hasilnya dibandingkan dengan pH pada label kemasan untuk menilai kesesuaian produk. Nilai pH tercantum: 5,05 (pembersih wajah dan

toner), 6 (serum dan pelembap), serta 7 (tabir surya), yang sesuai dengan standar kosmetik. Hasil pengukuran sensor pH ditampilkan pada gambar 4.



Gambar 4. Hasil pengukuran dengan sensor pH *skincare* pembersih wajah (a), toner (b), serum (c), pelembap (d), dan tabir surya (e)

Berdasarkan hasil pengukuran menggunakan sensor pH pada gambar 4, diketahui bahwa nilai pH yang diperoleh untuk masing-masing produk adalah 5,07 untuk pembersih wajah, 5,04 untuk toner, 6,05 untuk serum, 5,09 untuk pelembap, dan 7,02 untuk tabir surya. Secara keseluruhan, pH tetap dalam kisaran standar. Batas toleransi pH untuk produk *skincare* umumnya berkisar antara 4,0 hingga 7,5. pH yang terlalu rendah dapat menyebabkan iritasi, sedangkan pH yang terlalu tinggi dapat mengganggu keseimbangan kulit. Idealnya, produk *skincare* sebaiknya memiliki pH yang mendekati pH alami kulit, yaitu antara 4 hingga 5,5. (Sensorex, 2023). Standar ini merujuk pada pedoman yang ditetapkan oleh lembaga seperti *International Cosmetic Ingredient Review (ICIR)* dan badan regulasi lainnya, yang memastikan bahwa produk *skincare* aman dan efektif untuk digunakan. Namun, serum menunjukkan deviasi lebih tinggi (6,05), yang dapat disebabkan oleh kesalahan formulasi, ketidaksesuaian label, atau keterbatasan metode pengukuran. Analisis lebih lanjut diperlukan untuk memastikan kepatuhan standar.



Gambar 4. Tampilan pengukuran ph menggunakan spektroskopi

Gambar 4 menampilkan hasil pengukuran pH lima produk *skincare* menggunakan spektroskopi UV-Vis, yang mengukur pH berdasarkan absorbansi cahaya pada panjang

gelombang tertentu, biasanya sekitar 254 nm untuk analisis pH. Nilai pH dikonversi dari absorbansi menggunakan kurva kalibrasi linear ($\text{pH} = a (\text{absorbansi}) + b$). Hasil pengukuran dibandingkan dengan pH yang tertera pada label kemasan untuk menilai kesesuaian produk. Grafik juga dilengkapi dengan *error bar*, yang menunjukkan variasi pengukuran; umumnya, *error bar* yang dianggap dapat diterima adalah dalam rentang $\pm 0,1$ pH. Jika *error bar* berada dalam rentang tersebut, hasil dianggap konsisten dan valid. Namun, jika *error bar* melebihi $\pm 0,1$ pH, hasil pengukuran dapat dianggap tidak konsisten. Detail hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran menggunakan spektroskopi

Produk	Absorbansi (AU)	pH Spektroskopi
Pembersih Wajah	0,321	5,06
Toner	0,305	5,03
Serum	0,412	6,04
Pelembap	0,398	6
Tabir Surya	0,502	7,03

Gambar 4 dan tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran pH lima jenis produk perawatan kulit menggunakan metode spektrofotometri UV-Vis. Nilai absorbansi yang diperoleh dari spektrofotometer digunakan untuk menentukan pH masing-masing produk melalui konversi menggunakan kurva kalibrasi linear ($\text{pH} = a (\text{absorbansi}) + b$), di mana a dan b adalah konstanta dari pengukuran standar. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa metode spektroskopi memberikan nilai pH yang sangat mendekati hasil pengukuran sensor dan pH yang tertera pada label, dengan perbedaan yang relatif kecil. Nilai pH yang diperoleh adalah 5,06 untuk pembersih wajah, 5,03 untuk toner, 6,04 untuk serum, 6,00 untuk pelembap, dan 7,03 untuk tabir surya. Selanjutnya untuk melihat perbandingan hasilnya dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 2. Perbandingan hasil pengukuran pH produk *skincare*

Produk	pH Lab el	pH Senso r	pH Spektrosko pi	Deviasi Senso r	Deviasi Spektrosko pi	Kesesuaian Sensor	Kesesuaian Spektrosko pi
Pembersih Wajah	5,05	5,07	5,06	0,2	0,1	False	True
Toner	5,05	5,04	5,03	0,1	0,2	True	False
Serum	6	6,05	6,04	0,05	0,4	False	False
Pelembap	6	5,09	6	0,1	0	True	True
Tabir Surya	7	7,02	7,03	0,2	0,3	False	False

Tabel 2 menunjukkan bahwa sebagian besar produk memiliki deviasi di bawah 0,2, sesuai batas toleransi industri *skincare*. Kesesuaian ditentukan berdasarkan deviasi maksimal $\pm 0,1$ di mana nilai di bawah batas ini dianggap "True", sementara yang melebihi dianggap "False". Produk serum memiliki deviasi tertinggi (0,4), yang dapat mengindikasikan ketidaksesuaian formulasi, perbedaan informasi label, atau keterbatasan metode pengukuran. Zat aktif tertentu dalam serum mungkin juga memengaruhi hasil pembacaan. Secara keseluruhan, sensor pH dan spektroskopi menunjukkan hasil yang konsisten, membuktikan keandalannya dalam pemantauan pH produk *skincare* secara *real-time*.

Pembahasan

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pemantauan pH berbasis IoT menggunakan NodeMCU ESP8266, sensor pH digital, dan spektroskopi UV-Vis untuk meningkatkan akurasi pengukuran pH produk *skincare*. Lima jenis produk diuji sebanyak tiga kali per sampel, dengan data dikirim ke *platform* berbasis *python* untuk analisis dan visualisasi *real-time*. Hasil menunjukkan semua produk berada dalam kisaran pH aman: pembersih wajah 5,07, toner 5,04, serum 6,05, pelembap 5,09, dan tabir surya 7,02. Meskipun sebagian besar deviasi di bawah toleransi $\pm 0,1$, serum memiliki deviasi tertinggi 0,4, yang memerlukan analisis lebih lanjut. Stabilitas pH dipengaruhi oleh formulasi, di mana pembersih wajah, toner, pelembap, dan tabir surya lebih stabil karena bahan yang tidak mudah bereaksi dengan faktor eksternal. Sebaliknya, serum mengandung bahan aktif tinggi yang lebih sensitif terhadap perubahan lingkungan, menyebabkan fluktuasi pH lebih besar. Meskipun kombinasi sensor pH digital dan spektroskopi UV-Vis memberikan hasil akurat dan *real-time*, variasi pada serum menunjukkan perlunya optimasi metode pengukuran, seperti peningkatan homogenitas sampel atau penyesuaian parameter analisis. Konsistensi hasil antara kedua metode membuktikan efektivitas sistem ini dalam pemantauan pH, meskipun perbaikan diperlukan untuk meningkatkan akurasi pengukuran serum.

Penelitian ini menunjukkan implementasi sistem pemantauan pH berbasis IoT yang efektif untuk produk *skincare*, sejalan dengan kebutuhan untuk mengisi celah dalam penelitian Suma et al. (2024). Dengan menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP8266 dan sensor pH, penelitian ini berhasil mengukur pH dari lima jenis produk *skincare* dan membandingkannya dengan nilai pH yang tertera pada label kemasan, hal ini sejalan dengan penelitian Agustin et al. (2025), yang juga menekankan pentingnya akurasi dalam pengukuran pH produk kosmetik. Sensor pH bekerja dengan mengukur konsentrasi ion hidrogen (H^+), menghasilkan sinyal listrik yang sebanding dengan pH, seperti yang disebutkan dalam penelitian Christanto et al. (2020), yang menjelaskan prinsip dasar pengukuran pH menggunakan sensor ion selektif. Sementara itu, metode spektroskopi UV-Vis mengukur absorbansi cahaya yang dikonversi menjadi nilai pH melalui kurva kalibrasi, yang telah dibahas oleh Iwanicka et al. (2020) dalam analisis kualitas produk.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai pH dari kedua metode mendekati label, dengan sebagian besar deviasi di bawah 0,2. Namun, serum memiliki deviasi tertinggi (0,4), melebihi batas toleransi $\pm 0,1$ pH, yang dapat mempengaruhi stabilitas, efektivitas, dan berisiko menyebabkan iritasi (Gidado et al., 2022; Hasudungan et al., 2023). Faktor penyebabnya meliputi variasi komposisi, suhu, dan penyimpanan yang memengaruhi aktivitas bahan aktif. Selain itu, kualitas sensor dan metode spektroskopi turut berkontribusi terhadap deviasi hasil (Ganji et al., 2024). Penelitian ini menekankan pentingnya prototipe yang dapat diterapkan untuk meningkatkan pengukuran pH dalam industri *skincare*, mengingat deviasi pH mempengaruhi keamanan produk. Berbeda dari penelitian sebelumnya yang berfokus pada aspek teknis (Ladarola, 2022; Ganji et al., 2024). Sementara penelitian kami menghadirkan solusi praktis melalui sistem pemantauan pH berbasis IoT dengan data *real-time*. Sistem ini memungkinkan produsen memantau dan menyesuaikan pH produk secara langsung, meningkatkan kontrol kualitas, serta memastikan kepatuhan terhadap standar formulasi dan regulasi. Selain itu, integrasi sistem ini dengan manajemen mutu industri *skincare* dapat meningkatkan pengambilan keputusan berbasis data dan analisis kualitas produk (Suma et al., 2024). Dengan mengaitkan hasil penelitian dengan teori keseimbangan pH kulit, penelitian ini memperkuat relevansi sistem pemantauan pH dalam industri *skincare*.

SIMPULAN

Sistem pemantauan pH berbasis *Internet of Things* (IoT) yang kami bangun mampu melakukan pengukuran pH secara *real-time* dengan akurasi tinggi. Dibandingkan dengan

metode konvensional seperti uji kertas lakmus atau pengukuran manual, sistem ini menawarkan keunggulan dalam hal efisiensi, konsistensi, dan aksesibilitas data secara langsung. Integrasi sensor pH dan spektroskopi UV-Vis memungkinkan deteksi ketidaksesuaian antara nilai pH pada label produk, dengan rata-rata deviasi di bawah 0,2, kecuali pada serum yang menunjukkan deviasi 0,4. Hal ini menunjukkan bahwa sistem IoT dapat meningkatkan keandalan pemantauan dibandingkan metode tradisional yang rentan terhadap kesalahan subjektif. Secara praktis, sistem ini dapat diintegrasikan dalam proses produksi dan pengawasan kualitas produk *skincare*, memungkinkan pemantauan otomatis yang lebih cepat dan akurat. Dengan data *real-time* yang tersimpan di *platform* berbasis *cloud*, produsen dapat segera mengidentifikasi dan mengoreksi ketidaksesuaian formulasi produk yang dipasarkan. Implikasi penelitian ini signifikan bagi regulasi produk *skincare*, meningkatkan transparansi serta efektivitas pengawasan kualitas. Teknologi IoT yang diterapkan dalam sistem ini tidak hanya meningkatkan efisiensi pengawasan kualitas tetapi juga dapat dijadikan standar baru dalam industri *skincare* untuk memastikan keamanan produk.

REFERENSI

- Agustin, E. W., Tumangger, M. H., Nurmaliyah, A., Syafa, N., Lubis, C. M., Izzaty, S. U. N., Chandra, D., Sakti, E. P., Gedung, A., Kampus, E., Pati, K. G., Semarang, K., & Tengah, J. (2025). Studi Literatur Kandungan Zat Berbahaya pada Skincare dan Dampaknya terhadap Kesehatan Kulit. *An-Najat: Jurnal Ilmu Farmasi Dan Kesehatan*, 3(445), 1–10. <https://doi.org/doi.org/10.59841/an-najat.v2i4.2058>
- Akbar, T., & Gunawan, I. (2020). Prototype Sistem Monitoring Infus Berbasis IoT (Internet of Things). *Edumatic: Jurnal Pendidikan Informatika*, 4(2), 155–163. <https://doi.org/10.29408/edumatic.v4i2.2686>
- Amelya, A., Deana, P., & Minerva, P. (2024). Formulation and Determination of Tannin and Flavonoid Levels of Anti-Acne Gel Formulation from Red Betel Leaf Extract (*Piper crocatum*). *JFPS: Journal of Food and Pharmaceutical Sciences*, 12(1), 61–66. <https://doi.org/https://doi.org/10.22146/jfps.12644>
- Christanto, F. W., Susanto, Pramono, B. A., Ardiyanto, I., & Hidayatulloh, R. R. (2020). Nodemcu dan Kontrol Pengukuran pH Air Berbasis Android untuk Menentukan Tingkat Kejernihan pada Air Tawar. *Pengembangan Rekayasa dan Teknologi*, 4(1), 1–8. <https://doi.org/10.26623/jprt.v16i1.1895>
- Dhanaraju, M., Chenniappan, P., & Ramalingam, K. (2022). Smart Farming: Internet of Things (IoT) Based Sustainable Agriculture. *Agriculture*, 12(1745), 1–26. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agriculture12101745>
- Ganji, P. A., Chavan, G., Patil, K., Bavamakandar, U., & Vitekari, V. (2024). IoT Enabled Cosmetics Suggestions for Skin Conditions Using AI. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 06(05), 2956–2959.
- Hasan, W. L., Sari, R., & Hendrad, E. (2024). Green Synthesis of Antimicrobial Silver Nanoparticles using Green Tea Extract: The Role of Concentration and pH. *Jurnal Sains Farmasi & Klinis*, 12(1), 25–31. <https://doi.org/10.25077/jsfk.11.1.25-31.2024>
- Hasudungan, J., Putra, A. P., Raharjo, J., & Lestari, A. F. (2023). Penerapan Internet of Thing (IoT) Dalam Pengendalian Suhu, Kelembaban dan PH Air Kolam pada Mini EduFarm. *Journal of Information System Research (JOSH)*, 4(4), 1237–1244. <https://doi.org/10.47065/josh.v4i4.3723>
- Janssens, C., Claudia, B., & Marta, D. (2025). Influence of Cosmetic Skincare Products with pH < 5 on the Skin Microbiome: A Randomized Clinical Evaluation. *Dermatology and Therapy*, 15(1), 141–159. <https://doi.org/10.1007/s13555-024-01321-x>
- Ladarola, G., Poli, A., & Spinsante, S. (2022). Compressed Sensing of Skin Conductance Level for IoT-based Wearable Sensors. *International Instrumentation and Measurement*

- Technology Conference (I2MTC)*, 1–6, Canada: IEEE.
<https://doi.org/10.1109/I2MTC48687.2022.9806516>
- Luki, M., Panteli, I., & Savi, S. D. (2021). Towards Optimal pH of the Skin and Topical Formulations: From the Current State of the Art to Tailored Products. *Cosmetics*, 69(8).
<https://doi.org/10.3390/cosmetics8030069>
- Margana, F. K., & Pauzan, M. (2024). Pengembangan Alat Pendeteksi Asap Pada Kamar Hotel Berbasis Internet Of Things (Iot) Di Indramayu. *Elektrika*, 16(1), 62-68.
- Marshalia, V. (2024). Perancangan Pemanfaatan IoT dan Machine Learning Untuk Sistem Monitoring Kesehatan Kulit Wajah Berjerawat. *SNIV: Seminar Nasional Inovasi Vokasi*, 3(1), 135–145.
- Phukpattanachai, K., Praditseree, N., Skjolaas, S., Klaychaiya, S., & Trongtrakul, K. (2024). Accuracy of pH strip testing and pH liquid testing versus standard pH meter of gastric contents in critically ill patients: a diagnostic accuracy study. *BMJ Open Journal*, 14, 1–7. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-081830>
- Pratama, D. G., Maulindar, J., & Indah, R. P. (2023). Perancangan Monitoring & Pengontrol pH Sayuran Sawi Hidroponik Berbasis IoT (Internet of Things). *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, 3(2), 4051–4060.
- Rico, F., Mazabel, A., Egurrola, G., Pulido, J., Barrios, N., Marquez, R., & Garc, J. (2024). Meta-Analysis and Analytical Methods in Cosmetics Formulation: A Review. *Cosmetics*, 11(1), 1–45. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/cosmetics11010001>
- Sari, W. E., Junirianto, E., & Rahman, G. F. (2021). Sistem Pengukuran PH , Kelembapan, dan Suhu Berbasis Internet of Things (IoT). *Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro Vol.*, 3(1), 72–81. <https://doi.org/10.12928/biste.v3i1.3214>
- Sensorex. (2023). *The Significance of Skin pH in Cosmetics Manufacturing*. Retrieved Maret 10, 2025, from. <https://sensorex.com/skin-ph>
- Silalahi, P. H., & Soemartono, G. P. (2024). Pertanggungjawaban Pengusaha Atas Produk Skincare Merek Palsu pada Marketplace Shopee. *Ranah Research: Journal of Multidiciplinary Reseasrch and Development*, 6(4), 617–628.
<https://doi.org/https://doi.org/10.38035/rrj.v6i4.857>
- Suma, M. R., Bhutra, N., Bhat, O., Pandey, R. K., & Mohanta, S. (2024). Skin Sense an IoT & ML Approach to Skin Health Management Developments. *Grenze International Journal of Engineering and Technology*, 1(6), 1–8.
<https://doi.org/10.1109/ICECA.2018.8474593>.
- Suprpto, D. D. A., Fauziah, Fitri, I., & Hayati4, N. (2020). Pengembangan Aplikasi Sistem Informasi Smart Register Online Berbasis Android Menggunakan Algoritma BruteForce. *Edumatic: Jurnal Pendidikan Informatika*, 4(1), 47–56.
<https://doi.org/10.29408/edumatic.v4i1.2106>