Journal of Innovative and Creativity
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: journaljoecy@gmail.com

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2775-771X (Online)
ISSN 2962-570X **(Printed)**
6 (1) 2026, Page 22825- 22835

Implementasi Sensor Pendeteksi Diabetes Tipe 1 dari Hembusan Nafas

Aldy Franendy Nababan[1], Ridelson Janriaman[2], Eka Mutia Lubis[3], Widya Rika Puspita[4], Muhammad Naufal Airlangga Diputra[5], Muhammad Jaka Wimbang Wicaksono[6], Ahmad Syafi'i [7]
[1,2,3,4,5,6,7]Teknik Elektro, Politeknik Negeri Batam
Corresponding Author: Aldy Franendy Nababan, e-mail: nendy.nababan@gmail.com, e-mail: mutia@polibatam.ac.id

ABSTRAK
Kondisi autoimun yang disebut diabetes tipe 1 mengganggu produksi insulin dan memerlukan pemantauan dan pengobatan yang ketat. Prosedur yang lebih nyaman dan non-invasif diperlukan karena teknik deteksi tradisional bersifat invasif. Dengan fokus pada deteksi gas aseton sebagai biomarker, penelitian ini mengembangkan sistem skrining diabetes tipe 1 berbasis analisis napas. Data aseton dideteksi dan diproses oleh sistem menggunakan mikrokontroler ESP32 dan sensor MQ-135. Metode pembelajaran mesin kemudian digunakan untuk menganalisis data. Untuk menciptakan model prediksi yang akurat, informasi dikumpulkan dari kelompok kontrol dan pasien diabetes. Hasil yang diharapkan dari studi ini adalah sistem prototipe efisien untuk deteksi non-invasif diabetes tipe 1. Hal ini juga akan meningkatkan kenyamanan pasien dan memberikan alat diagnostik tambahan bagi tenaga medis. Ada juga potensi pengembangan lebih lanjut dalam deteksi kondisi medis lain menggunakan analisis napas.

Kata Kunci: Machine Learning, Skrining, Biomaker, Aseton

ABSTRACT
An autoimmune condition called type 1 diabetes disrupts insulin production and requires close monitoring and treatment. A more convenient and non-invasive procedure is needed because traditional detection techniques are invasive. Focusing on the detection of acetone gas as a biomarker, this study developed a type 1 diabetes screening system based on breath analysis. Acetone data is detected and processed by the system using an ESP32 microcontroller and an MQ-135 sensor. Machine learning methods are then used to analyze the data. To create an accurate prediction model, information is collected from both control groups and diabetes patients. The expected outcome of this study is an efficient prototype system for the non-invasive detection of type 1 diabetes. This will also improve patient comfort and provide an additional diagnostic tool for medical personnel. There is also potential for further development in the detection of other medical conditions using breath analysis.

Keywords: Machine Learning, Screening, Biomaker, Acetone

© The Author(s). 2026 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

PENDAHULUAN

Kerusakan pada sel beta pankreas menyebabkan tubuh tidak dapat memproduksi insulin yang cukup pada penderita diabetes tipe 1, suatu penyakit autoimun kronis. Insulin sangat penting untuk mengontrol kadar glukosa darah, jika insulin tidak ada, kadar glukosa darah dapat naik secara berbahaya, sehingga pasien perlu dipantau secara ketat. Pengelolaan diabetes tipe 1 memerlukan penggunaan teknik pemantauan kadar glukosa darah yang efisien. Namun, pasien, terutama anak-anak dan mereka yang harus

menjalani tes berulang kali sepanjang hari, seringkali merasa terganggu oleh metode konvensional, termasuk pengambilan darah yang invasif (Mochalski, 2008).

Identifikasi biomarker volatil dalam napas merupakan salah satu strategi baru yang saat ini sedang diteliti. Menurut penelitian terbaru, stres oksidatif dan ketosis menyebabkan individu dengan DMT1 memiliki tingkat senyawa organik volatil (VOC) yang lebih tinggi dalam napas mereka, termasuk aseton, etanol, dan isoprena (Amann, 2014). Hubungan yang signifikan antara aseton dengan kadar glukosa darah telah mengarah pada identifikasinya sebagai biomarker potensial (Righettoni, 2010). Namun, sensitivitas, selektivitas, dan biaya produksi yang tinggi tetap menjadi masalah bagi sensor deteksi VOC tradisional (Wang, 2010).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan sensor napas berbasis nanomaterial yang dapat secara akurat mendeteksi aseton sebagai indikator DMT1. Sensor ini menawarkan solusi yang hemat biaya, portabel, dan ramah pengguna dengan mengintegrasikan teknologi Internet of Things (IoT) untuk memantau secara real-time melalui perangkat seluler (Badnore, 2019). Penelitian ini diharapkan menjadi terobosan dalam diagnosis dini dan pengelolaan DMT1 (Jia, 2009) dengan menggabungkan analisis data dan inovasi material, sekaligus mengurangi beban pada sistem kesehatan.

METODE PENELITIAN

Perancangan Sistem Elektrikal

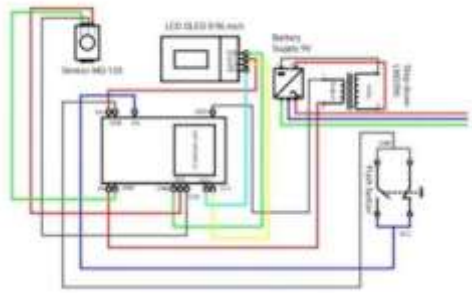
Aplikasi EasyEDA digunakan untuk menghasilkan skema desain listrik untuk Sistem Deteksi Diabetes Tipe 1 Berbasis Napas menggunakan desain listrik. Komponen utama yang diintegrasikan ke dalam desain listrik ini meliputi ESP32, Sensor MQ135, Layar LCD TTGO, Baterai Li-Ion Isi Ulang 9V, Konverter *Step-Down* LM2596, Tombol Tekan, dan Resistor 10k (Wang, 2010).

Pusat kendali sistem adalah mikrokontroler ESP32. Untuk membaca nilai resistansi sensor, yang bervariasi berdasarkan konsentrasi gas aseton, ESP32 dihubungkan ke sensor MQ135 melalui pin ADC. ESP32 memproses data sensor untuk menghasilkan pembacaan konsentrasi gas dalam satuan bagian per juta (ppm). LCD TTGO, yang terhubung langsung ke ESP32, kemudian menampilkan hasil deteksi secara real-time (Yu, 2020).

Baterai *Li-Ion rechargeable* 9V berfungsi sebagai sumber daya utama untuk memenuhi kebutuhan daya setiap komponen. Untuk memastikan pasokan daya yang stabil, tegangan baterai diturunkan menggunakan modul penurun tegangan LM2596 menjadi 3,3V untuk ESP32 dan TTGO LCD, serta 5V untuk sensor MQ135 (Li, 2021). Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan tombol tekan untuk memulai atau menghentikan proses pengukuran yang terhubung ke ESP32 melalui pin digital. Sirkuit tombol tekan menggunakan resistor 10k sebagai resistor *pull-down* untuk menjaga stabilitas sinyal digital.

Sirkuit listrik dirancang dengan mempertimbangkan stabilitas dan efisiensi sistem. Koneksi kabel diatur untuk memastikan komunikasi yang baik dan bebas gangguan antara semua komponen. Dengan

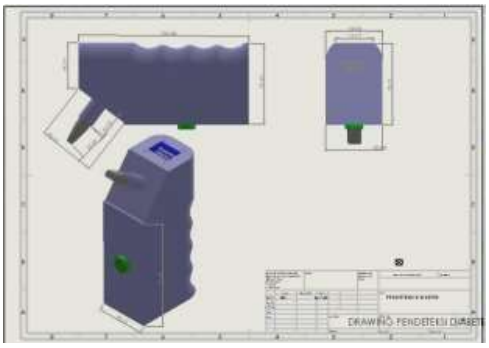
menggabungkan elemen-elemen ini, perangkat ini dapat mendeteksi kadar aseton dalam napas pasien sebagai tanda diabetes tipe 1 secara portabel dan efektif.



Gambar 1. Perancangan Desain Elektrikal

Perancangan Desain Mekanikal

Sensor Deteksi Diabetes Tipe 1 dari Napas Desain Mekanik SolidWorks digunakan untuk mengembangkan skema desain mekanik untuk Sensor Deteksi. Struktur pertama dari tiga struktur dalam desain mekanik adalah badan utama, yang memiliki dimensi 310x230x145 mm. Badan utama ini terbuat dari filamen, yang melindungi setiap bagian dari badan utama. Struktur kedua adalah Penutup Badan Utama, berukuran 300x220x2 mm dan terbuat dari bahan filamen. Penutup ini juga dilengkapi tombol ON/OFF. Fungsi penutup badan utama adalah menyembunyikan kabel semua komponen sambil menjaga tampilan yang rapi. Bagian ketiga terdiri dari tabung dengan dimensi dan diameter yang moderat. Fungsinya adalah mendiagnosis diabetes dengan menyediakan ruang bagi pasien untuk bernapas ke dalam pipet. Sensor MQ-135, LCD OLED, mikrokontroler ESP 32, konverter tegangan turun LM2596, sumber daya baterai 9V, dan tombol tekan merupakan bagian-bagian yang membentuk badan mekanis.



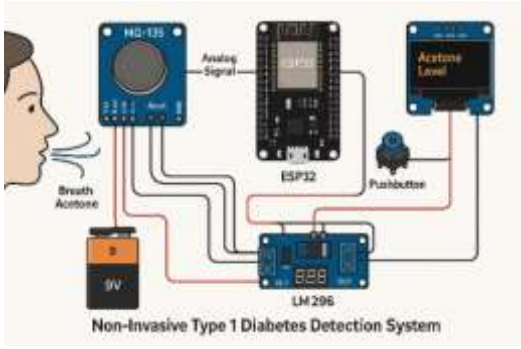
Gambar 2. Perancangan Desain Mekanikal

Perancangan Ilustrasi Sistem

Level asetone dalam napas dideteksi oleh sensor MQ-135 dalam ilustrasi sistem ini, yang berfungsi sebagai indikator non-invasif untuk deteksi diabetes tipe 1. Sensor ini dapat mendeteksi sejumlah gas, seperti asetone, yang levelnya dalam napas dapat menunjukkan kondisi metabolisme tubuh. Mikrokontroler ESP32 menerima sinyal analog yang dihasilkan oleh sensor MQ-135 dan memprosesnya lebih lanjut. ESP32 dipilih karena konektivitas nirkabelnya yang kuat dan kecepatan pemrosesan data yang cepat. Modul LM2596, sebuah regulator tegangan turun, digunakan untuk memastikan ESP32

menerima tegangan yang stabil dengan menurunkan tegangan dari sumber daya baterai 9V ke tingkat yang sesuai dengan kebutuhan ESP32. Mikrokontroler ESP32 menerima sinyal analog yang dihasilkan oleh sensor MQ-135 dan memprosesnya lebih lanjut. ESP32 dipilih karena konektivitas nirkabelnya yang kuat dan kecepatan pemrosesan data yang cepat. Modul LM2596, sebuah regulator tegangan turun, digunakan untuk menurunkan tegangan dari sumber daya baterai 9V ke tingkat yang sesuai untuk ESP32 guna memastikan ESP32 menerima tegangan yang stabil. Tombol tekan pada perangkat ini memungkinkan pengguna untuk memasukkan data secara manual, sehingga sistem dapat direset atau dikalibrasi sesuai kebutuhan. Layar OLED LCD menampilkan hasil pengukuran kadar aseton, memberikan pengguna antarmuka visual yang jelas dan sederhana.

Dengan menggabungkan elemen-elemen diatas, diharapkan sistem ini akan memberikan opsi yang lebih nyaman dibandingkan metode tradisional untuk diagnosis dini diabetes tipe 1 secara non-invasif dengan menganalisis kadar aseton dalam udara yang dihembuskan.



Gambar 3. Perancangan Ilustrasi Sistem

Pengujian

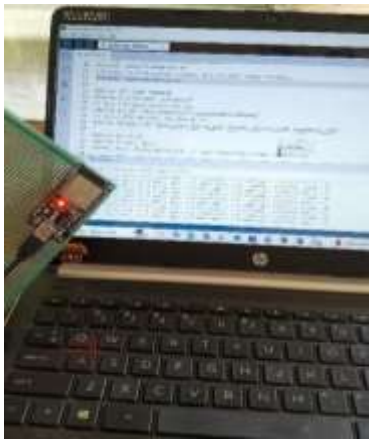
1. Pengujian Sensor MQ-135

Sensor MQ-135 diuji dalam sistem ini. Tujuannya adalah untuk mendapatkan data guna mencapai fungsi linear. Dengan mengukur jumlah aseton dalam napas seseorang, ide utama sensor aseton adalah untuk mendeteksi diabetes. Mikrokontroller menerima gas aseton yang dihasilkan. Mikrokontroller ESP 32 dapat langsung mengubah nilai sensor aseton menjadi nilai ADC menggunakan algoritma yang telah ditentukan sebelumnya.



Gambar 4. Pengujian Sensor MQ-135 menggunakan sample Gas Asetone

2. Pengujian Mikrokontroler ESP 32



Gambar 5. Perancangan Ilustrasi Sistem

Tujuan pengujian mikrokontroler ESP32 adalah untuk memastikan bahwa unit pemrosesan pusat sistem dapat menjalankan fungsinya, termasuk memproses sinyal, menerima data sensor, dan menampilkan hasil pengukuran pada layar OLED. Karena daya pemrosesan yang tinggi, fungsi ADC (*Analog-to-Digital Converter*), dan dukungan untuk jaringan nirkabel seperti WiFi dan Bluetooth, mikrokontroler ESP32 dipilih untuk memfasilitasi pengembangan sistem masa depan menuju Internet of Things (IoT).

Beberapa pin ADC pada ESP32 dapat membaca data analog dari sensor MQ-135. Pin ADC dalam uji ini disetel untuk membaca keluaran tegangan dari pin AOUT sensor MQ-135. Langkah-langkah pengujian:

a. Sambungkan pin AOUT sensor ke *pin* ADC ESP32 (seperti GPIO34).
b. Untuk membaca nilai analog dari sensor, gunakan metode analogRead() dalam program dasar.
c. Gunakan port monitor serial untuk menampilkan nilai pembacaan.

Untuk menyediakan data sebagai konsentrasi asetone relatif, ESP32 juga menganalisis masukan sensor. Pengolahan pertama dilakukan dengan:

a. Kalibrasi nilai ADC: menetapkan nilai ambang batas dalam kondisi udara lingkungan normal.
b. Transformasi nilai ADC menjadi satuan yang dapat dibandingkan sepanjang waktu disebut normalisasi data.
c. Jika konsentrasi asetone melebihi batas tertentu, pemicu alarm atau notifikasi opsional akan berbunyi.

3. Pengujian LCD OLED

Untuk memastikan bagian ini dapat berfungsi sebagai antarmuka visual utama dalam sistem deteksi aseton dari napas, pengujian dilakukan pada layar LCD OLED. OLED (*Organic Light Emitting Diode*) yang digunakan berukuran 0,96 inci, dilengkapi dengan antarmuka komunikasi I2C, dan memiliki resolusi 128 x 64 piksel. Tujuan utama OLED ini adalah menampilkan data yang diproses oleh mikrokontroler, seperti

perkiraan konsentrasi aseton dalam bagian per juta (ppm) dan status sistem yang berkaitan dengan kondisi metabolik pengguna.



Gambar 6. Pengujian LCD OLED

Beberapa tahap pengujian telah dilakukan, termasuk:

a. Pengujian komunikasi I2C antara ESP32 dan OLED untuk memastikan pertukaran data dan inisialisasi berfungsi sesuai rencana.
b. Pengujian tampilan statis dan dinamis, di mana ESP32 menampilkan nilai tetap dan data yang berubah sesuai dengan pembacaan sensor MQ-135.
c. Evaluasi kejernihan tampilan, termasuk visibilitas teks di bawah kondisi pencahayaan dan sudut pandang yang berbeda.
d. Pengujian stabilitas dalam jangka waktu yang lama untuk memastikan OLED dapat berfungsi tanpa masalah.

Pin 3.3V ESP32 dihubungkan ke pin VCC OLED, GND ke GND, SDA ke GPIO21, dan SCL ke GPIO22 dalam sirkuit pengujian. Teks dan komponen visual lainnya ditampilkan di layar menggunakan perpustakaan Adafruit_SSD1306 dan Adafruit_GFX.

4. Pengujian Alat dan Aplikasi



Gambar 7. Pengujian Alat dan *Software* Aplikasi

Untuk mengevaluasi kinerja keseluruhan sistem deteksi diabetes tipe 1 non-invasif yang berbasis sensor gas, mikrokontroler ESP32, dan tampilan antarmuka digital melalui perangkat seluler, pengujian perangkat dan aplikasi telah dilakukan. Sistem ini menggunakan dua media: panel OLED pada perangkat

keras dan aplikasi Android yang terhubung secara nirkabel, untuk membaca tingkat asetone dalam napas pengguna dan menampilkannya secara real-time. Beberapa elemen penting terintegrasi dalam pengujian ini, khususnya:

a. Detektor gas aseton adalah sensor MQ-135.
b. Unit pemrosesan utama adalah mikrokontroler ESP32.
c. Tampilan lokal adalah layar OLED.
d. Kontrol manual melalui tombol tekan.
e. Saluran pipet untuk hembusan napas.
f. Casing perangkat adalah cangkang yang dicetak 3D.
g. Aplikasi Android yang menggunakan koneksi WiFi untuk menerima data

Perangkat yang telah selesai dibangun terlihat beroperasi dalam kondisi nyata pada foto pengujian. Prosedur berikut digunakan untuk melakukan pengujian:

a. Inisialisasi sistem: Semua komponen telah diaktifkan dengan sukses dan sistem telah dinyalakan. Tingkat konsentrasi aseton dan status kondisi (NORMAL/TINGGI) ditampilkan oleh layar OLED untuk menunjukkan keadaan sistem.
b. Interaksi dengan pengguna: Pengguna menghirup ke dalam tabung sensor. Sensor mengirimkan pembacaan analog ke ESP32 saat mendeteksi perubahan konsentrasi gas.
c. Pengolahan dan output: Setelah memproses input dan menyesuaikan pengaturan ambang batas, mikrokontroler menampilkan hasil:
d. Pada layar OLED: Tampilan menunjukkan status sistem dan nilai konsentrasi aseton (misalnya, 0,141 ppm).
e. Pada aplikasi Android, tombol kontrol dan hasil dalam satuan ppm ditampilkan secara menonjol.
f. Sinkronisasi data: Data ditampilkan secara sinkron antara OLED dan aplikasi mobile, memastikan komunikasi antara ESP32 dan aplikasi berjalan lancar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi Sensor

Aspek penting dalam pengujian sistem adalah kalibrasi sensor, terutama untuk memastikan sensor MQ-135 dapat memberikan pengukuran tingkat aseton yang akurat, yang dapat diekspresikan dalam satuan bagian per juta (ppm). Selain menetapkan batas ambang yang membedakan antara tingkat yang menunjukkan kemungkinan risiko diabetes tipe 1 dan tingkat aseton normal, kalibrasi dilakukan untuk memberikan hasil dasar dalam kondisi udara normal tanpa hembusan napas.



Gambar 8. Hasil Kalibrasi MQ-135

Menetapkan nilai dasar dalam kondisi lingkungan normal merupakan salah satu tujuan kalibrasi sensor MQ-135 dalam konteks sistem ini.

1. Mengurangi ketidakakuratan pembacaan yang disebabkan oleh pengaruh gas di sekitar, suhu, atau kelembapan.
2. Menetapkan batas ambang tingkat aseton yang digunakan untuk mengkategorikan status pada tampilan sistem sebagai TINGGI atau NORMAL.

Kalibrasi dilakukan dalam dua tahap:

1. Kalibrasi Awal (Manual)

Saat sistem pertama kali dinyalakan, tombol tekan ditekan untuk menetapkan nilai dasar. Dalam kondisi ini, tidak boleh ada napas atau gas asing di sekitar sensor. Nilai tegangan analog dari pin AOUT sensor MQ-135 dibaca dan disimpan sebagai nilai referensi.

2. Kalibrasi Otomatis (Perhitungan Delta)

Setelah nilai dasar disimpan, sistem secara otomatis menghitung selisih (delta) antara nilai sensor saat pengguna meniup napas dan nilai referensi. Hasil delta ini kemudian dikonversi menjadi konsentrasi asetone yang diperkirakan dalam ppm menggunakan rumus empiris yang disesuaikan berdasarkan literatur atau pengujian.

Berdasarkan pengujian awal, nilai dasar rata-rata yang diperoleh dalam kondisi ruangan normal (tanpa gangguan gas) berkisar antara 130 hingga 160 pada skala ADC 10-bit (0–1023). Setelah pengguna meniup ke sensor, nilai tersebut meningkat menjadi ±240–300, tergantung pada konsentrasi gas yang terdeteksi.

Nilai ambang batas konsentrasi aseton untuk status NORMAL ditetapkan pada < 0,200 ppm, sementara nilai di atas ambang batas ini dikategorikan sebagai TINGGI atau memerlukan perhatian. Hasil ini ditampilkan baik di layar OLED maupun di aplikasi Android.

Pengujian Alat Pendeteksi Diabetes ke Pasien



Gambar 9. Hasil Uji Coba terhadap Pasien

Pengujian langsung perangkat pada banyak individu atau pasien sebagai pengguna akhir dilakukan setelah integrasi dan pengujian individu semua komponen sistem. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas sistem dalam mengidentifikasi tingkat asetone dalam napas manusia secara non-invasif sebagai prediktor dini potensial untuk diabetes tipe 1. Tujuan utama pengujian ini adalah:

1. Mengevaluasi reaksi sensor terhadap napas manusia dalam kondisi nyata.
2. Mengevaluasi kemampuan sistem untuk membedakan tingkat aseton antara individu yang sehat dan mereka yang memiliki gejala diabetes atau riwayat penyakit tersebut.
3. Memantau presisi, konsistensi, dan keandalan hasil tampilan pada aplikasi Android dan OLED selama prosedur pengukuran langsung.

Beberapa peserta dengan berbagai kondisi medis diuji, termasuk:

1. Orang sehat tanpa riwayat diabetes.
2. Orang dengan riwayat gula darah tinggi atau diabetes tipe 1 ringan.
3. Orang yang berpuasa (karena tingkat aseton cenderung naik saat tubuh kekurangan glukosa).

Prosedur pengujian:

1. Tiga puluh menit sebelum pengujian, peserta diinstruksikan untuk tidak makan atau minum apa pun.
2. Setelah menyalakan perangkat, kalibrasi pertama dilakukan dalam kondisi normal.
3. Selama sekitar lima detik, peserta menghirup udara ke dalam perangkat melalui saluran sensor.
4. Aplikasi Android dan layar OLED digunakan untuk melihat pembacaan sensor.
5. Informasi didokumentasikan dan dibandingkan di antara peserta.

Secara keseluruhan, perangkat keras (sensor, ESP32, OLED) dan perangkat lunak (prosedur kalibrasi, pemrosesan data, dan tampilan digital) sistem telah berfungsi dengan optimal. Bagi masyarakat umum, metode ini memiliki potensi besar sebagai alat skrining diabetes dini yang non-invasif, berguna, dan mudah digunakan.

KESIMPULAN

Sensor MQ-135 berhasil dikalibrasi dengan menggabungkan perhitungan otomatis berdasarkan nilai referensi lingkungan dengan kalibrasi manual (dengan menekan tombol). Perangkat ini dapat mendeteksi perubahan kadar aseton dengan akurasi dan sensitivitas berkat kalibrasi ini. Untuk membedakan antara kondisi normal dan indikator awal risiko diabetes, nilai ambang batas ±0.200 ppm ditetapkan.

Teknologi ini dapat secara andal mengidentifikasi perubahan kadar asetone dalam udara yang dihembuskan, berdasarkan pengujian pada banyak responden. Kadar asetone pada orang sehat lebih rendah dibandingkan pada orang dengan diabetes atau gejalanya. Konsistensi dan reaksi cepat secara real-time ditunjukkan oleh hasil pengukuran yang ditampilkan pada layar OLED dan aplikasi Android.

Untuk peneliti selanjutnya dapat melakukan Validasi Klinis Tambahan dan Kalibrasi Untuk memastikan akurasi pengukuran tingkat aseton sebagai indikasi diabetes, sistem harus diverifikasi lebih lanjut menggunakan sampel dari pasien yang telah menerima diagnosis klinis yang terverifikasi. Kerjasama dengan laboratorium kesehatan atau spesialis medis dapat meningkatkan keandalan sistem.

REFERENCES

Amann, A., et al. "The Human Volatilome: Comparative Models for Pathophysiological Pathways." Chemical Society Reviews, vol. 43, no. 5, 2014, pp. 1423–1449

Badnore, D. A., & Meshram, B. B. "Internet of Things Based Breath Monitoring System for Diabetes Patients." International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), 6(5), 2019, pp. 6832–6836

Hiltunen, J., et al. "Detection of Acetone in Human Breath Using Semiconductor Gas Sensors." Sensors and Actuators B: Chemical, vol. 93, no. 1-3, 2003, pp. 17-24

Jia, W., et al. "Breath Analysis for Noninvasive Detection of Diabetes and Lung Cancer." IEEE Transactions on Biomedical Engineering, vol. 56, no. 5, 2009, pp. 1130–1134

Li, X., Zhao, W., Zhang, H., & Wang, X. "A Low-Power Gas Detection System Based on ESP32 and MQ Sensors." Procedia Computer Science, 183, 2021, pp. 511–518

Mochalski, P., et al. "Suitability of Different Sorbent Materials for the Sampling and Preconcentration of Volatile Metabolites of Clinical Interest." Journal of Chromatography B, vol. 862, no. 1-2, 2008, pp. 1–8

Righettoni, M., Tricoli, A., and Pratsinis, S.E. "Si:WO_3 Sensors for Highly Selective Detection of Acetone for Easy Diagnosis of Diabetes by Breath Analysis." Analytical Chemistry, vol. 82, no. 9, 2010, pp. 3581–3587

Sohn, J. H., Hudson, N., Gallagher, E., Dunlop, M., Zeller, L., & Atzeni, M. "Verification of Odour Emissions Using a Sensor Array and Comparative Olfactometry." Biosystems Engineering, 96(4), 2007, pp. 679–689

Wang, C., et al. "Recent Progress in Electronic Nose Technologies Developed for Biomedical Applications." Sensors, vol. 10, no. 7, 2010, pp. 6133–6165

Yu, H., Xie, J., Zhang, H., & Xu, Y. "Design and Implementation of OLED Display System Based on ESP32." IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 768(5), 2020