

SISTEM Pendeteksi Kebocoran Gas dan Kebakaran Menggunakan Node MCU ESP 8266 Dengan Notifikasi Telegram

Bakti Dwi Waluyo *

Pendidikan Teknik Elektro,
Universitas Negeri Medan,
Indonesia

Muhammad Aulia Rahman S.

Pendidikan Teknik Elektro,
Universitas Negeri Medan,
Indonesia

Denny Haryanto Sinaga

Pendidikan Teknik Elektro,
Universitas Negeri Medan,
Indonesia

Info Artikel

Catatan Artikel:

Diterima: 08 November 2024

Revisi: 18 November 2024

Disetujui: 24 November 2024

Dol : 10.21009/jvote.v7i2.54686



Kata Kunci:

Esp8266

Internet of Things

LPG

Mikrokontroller

MQ2

Abstrak

Kebocoran gas merupakan salah satu resiko yang terjadi akibat pemasangan tabung LPG tidak tepat. Sehingga diperlukan alat deteksi kebocoran gas yang cepat dan andal dengan pendekatan berbasis Internet of Things (IoT) sebagai salah satu solusi yang efektif. Penelitian ini merancang alat berbasis mikrokontroler Arduino Uno dan modul Esp8266 untuk monitoring kebocoran gas dari jarak jauh. Sensor gas digunakan sebagai deteksi kebocoran secara real-time dan mengirimkan notifikasi peringatan melalui jaringan IoT. Penerapan teknologi IoT dalam sistem ini tidak hanya meningkatkan keamanan penggunaan LPG, akan tetapi juga memungkinkan integrasi dengan perkembangan teknologi modern. Alat ini merupakan solusi inovatif dalam menciptakan lingkungan yang lebih aman dan efisien dalam pemasangan tabung LPG.

Artikel: Bakti Dwi Waluyo (2024). Sistem Pendeksi Kebocoran Gas Dan Kebakaran Menggunakan Node MCU ESP 8266 Dengan Notifikasi Telegram. *Jurnal Pendidikan Vokasional Teknik Elektronika*, 7(2), 80 - 88

PENDAHULUAN

Proyek ini sangat penting dan relevan karena menyentuh kebutuhan mendesak akan keamanan dalam penggunaan LPG (Liquefied Petroleum Gas), yang merupakan salah satu sumber energi utama bagi masyarakat. Penggunaan LPG di Indonesia terus meningkat, tidak hanya sebagai bahan bakar untuk keperluan rumah tangga seperti memasak, tetapi juga untuk kendaraan bermotor dalam bentuk BBG (Bahan Bakar Gas). kebutuhan energi di sektor rumah tangga dan transportasi yang menggunakan bahan bakar gas terus berkembang seiring dengan peningkatan populasi dan urbanisasi (Wulandari, 2018; International Energy Agency [IEA], 2021; BP, 2022; Ozturk & Bilgili, 2015; Wang, Feng, & Zhang, 2020). Kebutuhan LPG nasional yang sebagian besar masih bergantung pada impor menekankan pentingnya pengelolaan yang aman dan efisien terhadap sumber daya energi ini (Biotifor, 2021). Namun, di balik manfaat penggunaan LPG, terdapat risiko serius yang perlu diantisipasi, terutama terkait dengan kebocoran gas. Kebocoran LPG, yang bisa terjadi akibat pemasangan tabung yang tidak tepat, dapat memicu ledakan atau kebakaran yang berpotensi membahayakan keselamatan jiwa dan properti. Menurut penelitian Haryanto (2021), salah satu masalah utama dalam penggunaan gas LPG adalah kemungkinan terjadinya kebocoran akibat kelalaian manusia atau kerusakan fisik pada alat pengaman. Banyak bangunan, baik rumah maupun tempat usaha (ruko), belum dilengkapi dengan sistem deteksi kebocoran gas yang memadai, sehingga meningkatkan risiko kecelakaan.

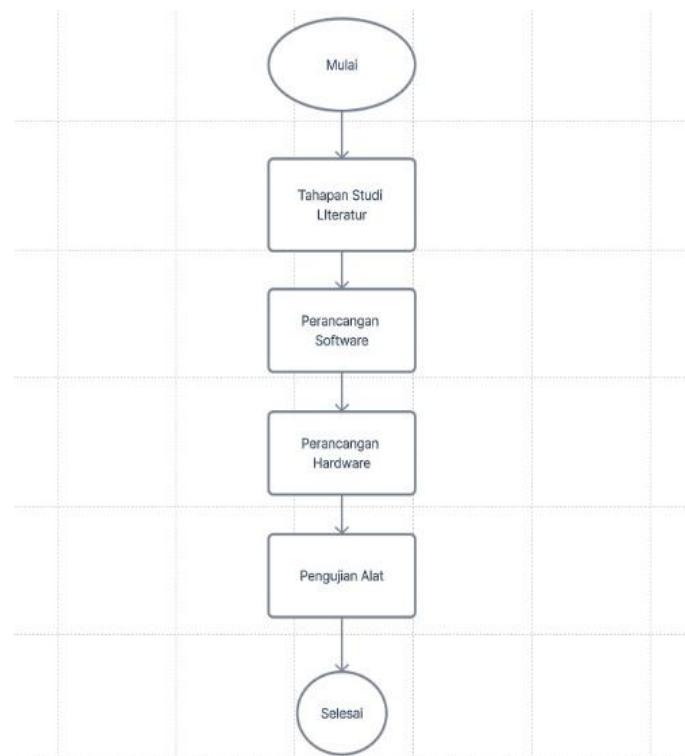
Coressponding author:

Bakti Dwi Waluyo. Universitas Negeri Medan, Indonesia (bakti_dw@unimed.ac.id @gmail.com)

Dengan memanfaatkan teknologi Internet of Things (IoT), proyek ini menawarkan solusi inovatif berupa alat deteksi kebocoran gas yang dapat memberikan notifikasi real-time kepada pengguna. Integrasi sistem teknologi informasi dengan komunikasi real-time, seperti yang diimplementasikan dalam aplikasi berbasis IoT, terbukti mampu meningkatkan efektivitas pengawasan dan keamanan pada lingkungan rumah tangga maupun industri (Fitriansyah & Aryadillah, 2020; Alaba et al., 2017; Roman, Zhou, & Lopez, 2013; Tanwar, Tyagi, & Kumar, 2018; Tsai & Lai, 2017). Sistem ini akan memantau kondisi gas LPG secara berkelanjutan dan memperingatkan pengguna segera jika terdeteksi kebocoran (Hidayat et al., 2021). Relevansi proyek ini semakin kuat mengingat perkembangan teknologi yang memungkinkan integrasi sistem pemantauan canggih, serta peningkatan kesadaran masyarakat akan pentingnya keselamatan dalam penggunaan energi. Hal ini tidak hanya meningkatkan keamanan, tetapi juga menciptakan rasa tenang bagi pengguna dalam menjalani kehidupan sehari-hari.

METODE

Penelitian ini pada hakekatnya dilakukan melalui pendekatan eksperimental yang berfokus pada pengujian integritas dan kinerja seluruh sistem yang dirancang, termasuk aspek perangkat lunak dan perangkat keras. Pendekatan eksperimental sering digunakan dalam penelitian untuk menguji hubungan sebab-akibat melalui kontrol variabel yang ketat (Creswell & Creswell, 2018; McLeod, 2019). Metode ini memungkinkan peneliti memperoleh data empiris yang valid dengan membandingkan kelompok eksperimen dan kontrol (Field & Hole, 2017; Gravetter & Forzano, 2018). Dalam konteks pendidikan, pendekatan eksperimental memberikan bukti kuat terkait efektivitas media pembelajaran berbasis teknologi (Fraenkel, Wallen, & Hyun, 2019; Johnson & Christensen, 2020). Pada gambar 1 merinci *flowchart* tahap penelitian pengembangan sistem. Yakni sistem deteksi dini gas dan kebakaran ESP8266 dengan notifikasi telegram, serta pemantauan suhu dan kelembapan. Tujuan dari penelitian ini adalah dengan menggunakan metode eksperimental ini untuk memvalidasi secara kuat keandalan sistem dan untuk memastikan bahwa sistem ini dapat mendeteksi potensi kebocoran gas dan kebakaran secara dini dan efektif melalui notifikasi telegram, alarm buzzer, alarm suhu dan kelembaban. Untuk memastikan bahwa kami dapat memberikan respons yang responsif. Pengawasan. Pendekatan eksperimental ini memberikan landasan yang kuat untuk memastikan bahwa sistem yang dikembangkan memenuhi standar kualitas dan kesiapan yang diinginkan



Gambar 1. Tahap Penelitian

Bahan

1. ESP8266

NodeMCU adalah platform pengembangan Internet of Things (IoT) yang berbasis pada modul Wi-Fi ESP8266. Platform ini menggunakan firmware open-source dan dapat diprogram dengan bahasa Lua atau Arduino IDE. NodeMCU sering digunakan untuk berbagai proyek IoT karena kemampuannya untuk menghubungkan perangkat elektronik ke internet melalui jaringan Wi-Fi. Platform ini mendukung berbagai sensor dan modul, memungkinkan integrasi yang fleksibel untuk otomasi rumah, pemantauan jarak jauh, dan proyek IoT lainnya. Keunggulannya terletak pada harga yang terjangkau dan kemudahan penggunaannya dalam berbagai aplikasi IoT (Kadir & Susanto, 2020; Al-Fuqaha et al., 2015; Priyanka & Rao, 2019; Rohi, Ningsih, & Nurhayati, 2020; Singh & Kapoor, 2021). Fungsi Utama ESP 8266 adalah koneksi Wi-Fi, ESP8266 seperti pada Gambar 1 memiliki modul Wi-Fi terintegrasi yang memungkinkan perangkat untuk terhubung ke jaringan internet tanpa memerlukan perangkat tambahan, platform IoT, NodeMCU digunakan untuk membuat perangkat IoT yang dapat dihubungkan, dikontrol, dan dipantau melalui internet, seperti otomatisasi rumah, sistem monitoring, dan aplikasi pengendalian jarak jauh. Konsumsi Daya Rendah, ESP8266 dirancang untuk bekerja dengan daya yang relatif rendah, sehingga cocok untuk aplikasi yang hemat energi seperti sensor nirkabel, GPIO (General Purpose Input/Output), NodeMCU memiliki pin GPIO yang dapat digunakan untuk mengendalikan sensor, aktuator, dan komponen elektronik lainnya, dan pengembangan Proyek IoT yang Mudah, Dengan fitur lengkap seperti koneksi HTTP, MQTT, serta kemampuan untuk berinteraksi dengan layanan cloud, platform ini banyak digunakan dalam pengembangan proyek IoT, seperti sistem pemantauan lingkungan, kontrol lampu pintar, dan sistem keamanan.



Gambar 2. Esp 8266

2. Sensor Gas (MQ-2)

Sensor Gas (MQ-2) adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan atau konsentrasi gas tertentu di lingkungan. Sensor ini bekerja dengan mengubah informasi terkait gas menjadi sinyal yang dapat dibaca dan diproses, baik itu dalam bentuk digital atau analog Chandrasekaran, S., Kumar, A., & Singh, M. (2017). Fungsi Utama Sensor MQ 2 seperti pada Gambar 2 adalah mendeteksi gas berbahaya, sensor gas digunakan untuk mendeteksi keberadaan gas beracun atau mudah terbakar, seperti karbon monoksida (CO), metana (CH4), propana, dan lainnya. Ini berguna untuk mencegah kebocoran gas yang bisa berbahaya bagi kesehatan dan keselamatan, pengukuran Konsentrasi Gas, Selain mendeteksi keberadaan gas, sensor gas juga dapat mengukur konsentrasi gas tertentu di udara dan memberikan hasil dalam satuan PPM (part per million), dan sistem keamanan, Sensor gas sering digunakan dalam sistem alarm untuk mendeteksi kebocoran gas di rumah, laboratorium, dan industri. Jika ada gas yang melebihi ambang batas tertentu, sensor akan mengirimkan peringatan atau memicu alarm.



Gambar 3. Sensor MQ-2

3. Sensor Api (Flame Sensor)

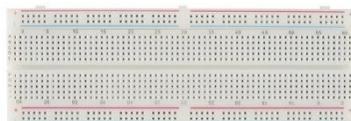
Sensor api seperti pada Gambar 3 adalah perangkat elektronik yang dirancang untuk mendeteksi keberadaan api atau sumber panas tinggi dengan cara mendeteksi radiasi cahaya yang dipancarkan oleh api. Sensor ini biasanya digunakan dalam sistem keamanan dan otomatisasi untuk memberikan peringatan dini ketika ada potensi kebakaran atau ledakan Kadir, A., & Susanto, E. (2020). Fungsi utama sensor api adalah deteksi api Dimana sensor api dapat mendeteksi nyala api dengan cepat berdasarkan spektrum cahaya atau suhu yang dihasilkan oleh api. Hal ini memungkinkan tindakan cepat, seperti memicu alarm atau mematikan peralatan berbahaya. Kemudian sebagai sistem keamanan kebakaran sebagai sistem alarm kebakaran untuk melindungi bangunan, pabrik, atau kendaraan dari bahaya kebakaran. Jika mendeteksi api, sensor akan mengaktifkan alarm, mematikan peralatan listrik, atau bahkan memulai sistem pemadam kebakaran otomatis. Dan pemantauan jarak jauh yang dapat diintegrasikan dengan sistem IoT untuk mengirimkan peringatan melalui internet (misalnya, notifikasi ke smartphone) ketika kebakaran terdeteksi, sehingga tindakan pencegahan bisa dilakukan dengan lebih cepat.



Gambar 4 Sensor Api

4. Breadboard

Breadboard merupakan papan elektronik yang umum digunakan untuk membuat rangkaian sementara atau prototipe tanpa perlu proses penyolderan, sehingga sangat mendukung pembelajaran maupun pengembangan sistem elektronik (Chandrasekaran, Rahmat, & Sinta, 2017; Horowitz & Hill, 2015; Monk, 2016; Platt, 2017; Sadiku, 2021). Breadboard seperti pada Gambar 4 memungkinkan perakitan dan pengujian rangkaian elektronik secara cepat dan mudah dengan menghubungkan komponen menggunakan lubang-lubang yang tersedia di papan. Fungsi utama breadboard adalah sebagai prototipe rangkaian yang digunakan untuk merancang dan menguji rangkaian elektronik sebelum dibuat permanen. Ini memungkinkan pengguna untuk dengan cepat menghubungkan komponen elektronik, seperti resistor, kapasitor, transistor, LED, dan mikrokontroler, untuk memvalidasi fungsinya. Kemudian penggunaan breadboard tidak memerlukan solder, sehingga memudahkan perakitan dan perubahan rangkaian. Pengguna dapat memasukkan dan melepaskan komponen elektronik dengan mudah, tanpa risiko merusak komponen. Dan breadboard sangat berguna untuk eksperimen dalam belajar elektronika, karena memfasilitasi pengujian rangkaian dasar dan modifikasinya sebelum membuat rangkaian akhir di PCB (Printed Circuit Board).



Gambar 5 Breadboard

5. Kabel Jumper

Kabel jumper seperti pada Gambar 5 adalah kabel penghubung yang digunakan untuk membuat koneksi sementara antara komponen-komponen dalam rangkaian elektronik, terutama saat bekerja dengan breadboard atau perangkat pengembangan seperti Arduino atau Raspberry Pi Mubarak, R., & Hasibuan, M. (2021). Kabel jumper biasanya memiliki ujung yang dilengkapi dengan pin atau konektor yang dapat dengan mudah dipasang ke lubang breadboard, port, atau pin header tanpa memerlukan penyolderan. Fungsi Utama Kabel Jumper adalah menghubungkan Komponen Elektronik, Kabel jumper digunakan untuk menghubungkan berbagai komponen elektronik, seperti resistor, LED, sensor, atau modul lainnya, dalam rangkaian tanpa perlu melakukan penyolderan. Kabel ini membantu membuat jalur aliran listrik antara komponen. Kemudian membuat prototipe rangkaian, Saat merancang prototipe atau eksperimen rangkaian di breadboard, kabel jumper memudahkan dalam membuat koneksi antara bagian-bagian rangkaian dengan cepat dan fleksibel.

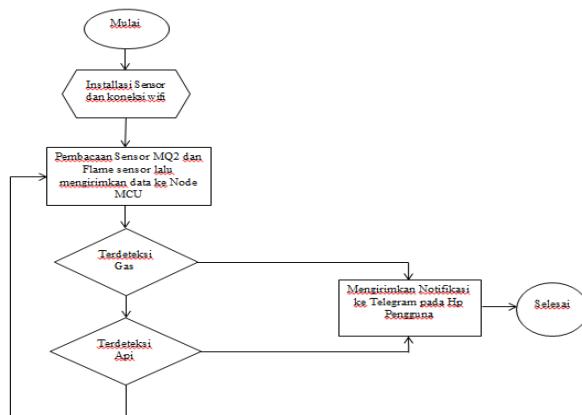
Dan penghubung sumber daya, kabel jumper sering digunakan untuk menghubungkan sumber daya, seperti baterai atau adaptor, ke rangkaian pada breadboard.



Gambar 6 Kabel Jumper

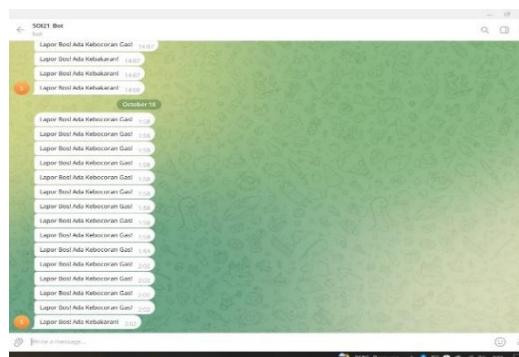
HASIL DAN DISKUSI

Pada bagian hasil dan pembahasan, implementasi sistem deteksi kebocoran gas dan kebakaran berbasis NodeMCU ESP8266 dengan notifikasi Telegram menunjukkan hasil yang cukup memuaskan. Dari segi kinerja sensor, sensor gas MQ-2 mampu mendeteksi kebocoran gas dalam waktu 1-2 detik setelah kadar gas melebihi ambang batas yang ditetapkan. Sensor ini bekerja lebih baik setelah proses kalibrasi yang tepat untuk mengurangi alarm palsu. Begitu pula dengan flame sensor yang mampu mendeteksi api dengan cepat dalam hitungan milidetik. Sensor api ini tetap efektif di lingkungan terang maupun gelap, membuatnya sangat cocok untuk berbagai kondisi.



Gambar 7 Diagram Alir

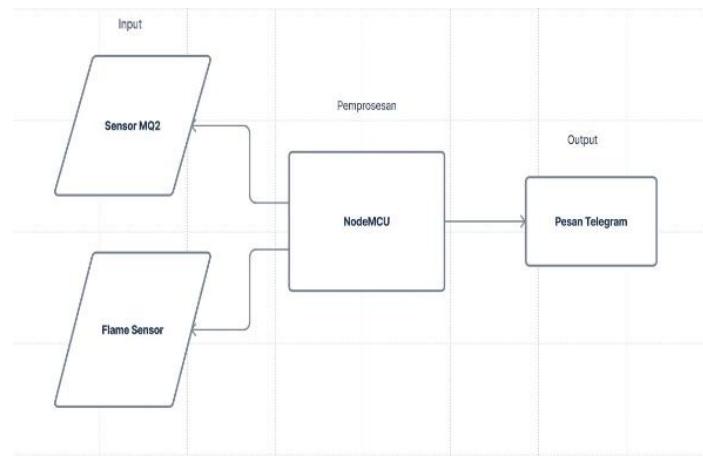
Pengiriman notifikasi melalui Telegram terbukti cepat dan andal, dengan pesan peringatan diterima oleh pengguna kurang dari 2 detik setelah sensor mendeteksi bahaya. Hal ini memungkinkan pengguna untuk segera mengetahui situasi berbahaya dan bertindak cepat. Koneksi Wi-Fi yang stabil sangat penting dalam sistem ini, dan dalam pengujian, sistem tetap terhubung dengan baik meskipun dalam kondisi sinyal yang lemah. Jika koneksi Wi-Fi terputus, NodeMCU secara otomatis mencoba menghubungkan kembali untuk memastikan sistem tidak terputus.



Gambar 8 Notifikasi Telegram

Efektivitas sistem ini dalam situasi darurat sangat terbukti, karena notifikasi real-time memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi dari jarak jauh. Namun, beberapa hambatan juga

muncul selama pengujian, terutama terkait ketergantungan pada sinyal Wi-Fi yang kuat. Koneksi yang lemah dapat menyebabkan keterlambatan dalam pengiriman notifikasi. Selain itu, proses kalibrasi sensor gas juga memerlukan ketelitian untuk memastikan ambang batas yang tepat agar sistem tidak terlalu sensitif atau lambat dalam merespon.

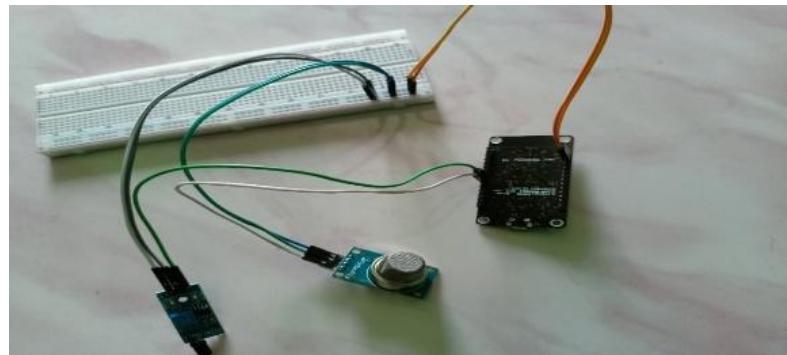


Gambar 9 Diagram Rangkaian Sistem

Pengguna yang telah mencoba sistem ini umumnya memberikan umpan balik positif, terutama terkait kecepatan pengiriman notifikasi dan kemudahan penggunaan sistem. Setelah kalibrasi yang tepat, deteksi bahaya seperti kebocoran gas atau api berlangsung dengan sangat akurat tanpa ada kesalahan atau alarm palsu. Rangkaian sistem ditunjukkan oleh Tabel 1 dan Gambar 9.

Tabel 1. Rangkaian Sistem

Sensor MQ2 (Sensor Gas)	Breadboard	ESP8266
VCC	(+)	VCC
GND	(-)	GND
DO		D5
Sensor Api	Breadboard	ESP8266
VCC	(+)	VCC
GND	(-)	GND
DO		D6



Gambar 10 Rangkaian Sistem

Pengujian Sistem

Pengujian ini akan membahas tingkat sensitivitas sensor api dalam sistem alarm kebakaran yang telah dirancang. Pengujian dilakukan dalam kondisi gelap dan terang dengan jarak yang bervariasi. Tabel pengujian sensor api dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3.

Tabel 2. Pengujian Sensor Api Keadaan Gelap

Jarak Pengujian Api dengan Modul <i>Flame Sensor</i>	Data Sensor Api	Status Api
1 – 5 cm	0	Hidup
10 – 15 cm	0	Hidup
20 – 25 cm	0	Hidup
30 – 35 cm	0	Hidup
40 – 45 cm	0	Hidup
50 cm	0	Hidup

Tabel 3. Pengujian Sensor Api Keadaan Terang

Jarak Pengujian Api dengan Modul <i>Flame Sensor</i>	Data Sensor Api	Status Api
1 – 10 cm	0	Hidup
10 – 30 cm	0	Hidup
30 – 40 cm	0	Hidup
40 – 50 cm	1	Hidup
50 – 60 cm	1	Hidup
70 cm	1	Hidup

Kinerja Sistem

Pada pembahasan kinerja sistem ini, dapat disimpulkan bahwa sistem telah memenuhi ekspektasi dalam memberikan solusi yang efektif untuk pengawasan terhadap kebocoran gas dan pendekripsi kebakaran. Penilaian kinerja sistem akan digunakan untuk memperbaiki dan mengoptimalkan sistem sebelum diluncurkan secara resmi. Pada pembahasan proyek ini membantu menggambarkan sejauh mana keberhasilan penerapan sistem pendekripsi kebocoran gas dan kebakaran dalam memenuhi tujuan proyek, yaitu mempermudah Masyarakat dan memberikan keamanan lebih untuk melindungin dari kebocoran gas dan pendekripsi kebakaran.

Tabel 4. Pengujian Kinerja Sistem

1. Pengujian Fungsional (Functional Testing)		Hasil Yang di Harapkan	Kesimpulan
Sensor Gas		Sensor gas menemukan kebocoran gas dan mengirimkan sinyal ke NodeMCU untuk notifikasi.	Sesuai
Sensor Api (Flame Sensor)		Sensor api mendeteksi kebakaran dan memberikan notifikasi segera.	Sesuai
Pengiriman Notifikasi Telegram		Notifikasi dikirim ke Telegram saat terdeteksi kebocoran gas atau kebakaran.	Sesuai
Sistem Pemantauan Jarak Jauh		Pengguna dapat menerima notifikasi dan memantau kondisi sistem dari jarak jauh.	Sesuai
Reset Sistem		Sistem berhasil di-reset dan kembali berfungsi normal setelah proses ulang.	Sesuai
2. Pengujian Kinerja (Performance Testing)			
Respons Sistem		Sistem mendeteksi kebocoran gas atau api dalam kurang dari dua detik.	Sesuai
Pengiriman Notifikasi Telegram		Notifikasi Telegram dikirim dalam waktu kurang dari dua detik setelah peringatan bahaya diidentifikasi.	Sesuai
Koneksi Wi-Fi		Selama pengujian, koneksi Wi-Fi stabil dan tidak ada gangguan.	Sesuai
Keakuratan Sensor Gas		Dengan tidak mengeluarkan alarm palsu, sensor gas mendeteksi kebocoran dengan akurat.	Sesuai

KESIMPULAN

Sistem deteksi kebocoran gas dan kebakaran berbasis NodeMCU ESP8266 dengan notifikasi Telegram terbukti efektif dan andal. Sistem ini mampu mendeteksi kebocoran gas dan api dengan cepat, serta mengirimkan notifikasi real-time ke pengguna melalui Telegram, memungkinkan tindakan cepat dalam situasi darurat. Meskipun ada beberapa tantangan, seperti ketergantungan pada sinyal Wi-Fi yang kuat dan kalibrasi sensor yang tepat, secara keseluruhan sistem ini memberikan solusi yang praktis dan efisien untuk meningkatkan keamanan. Selain itu, fitur pemantauan jarak jauh melalui Telegram memberikan kenyamanan lebih bagi pengguna, karena mereka dapat terus memantau kondisi rumah atau lokasi lain tanpa harus berada di tempat. Proses kalibrasi rutin pada sensor gas memastikan akurasi deteksi tetap terjaga. Sistem ini tidak hanya meningkatkan keamanan, tetapi juga memberikan rasa aman dan respons cepat terhadap potensi bahaya, menjadikannya pilihan tepat untuk perlindungan di rumah maupun tempat usaha.

REFERENSI

- Alaba, F. A., Othman, M., Hashem, I. A. T., & Alotaibi, F. (2017). Internet of Things security: A survey. *Journal of Network and Computer Applications*, 88, 10–28. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2017.04.002>
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17(4), 2347–2376. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- Biotifor. (2021). Gas: Sifat, pengertian, dan aplikasinya dalam kehidupan. Retrieved from <https://www.biotifor.or.id>
- BP. (2022). BP statistical review of world energy 2022. BP. <https://www.bp.com/statisticalreview>
- Chandrasekaran, S., Kumar, A., & Singh, M. (2017). Gas leakage detection and smart alerting system using IoT. *International Journal of Computer Applications*, 165(8), 24–29.
- Chandrasekaran, Sinta, S., & Rahmad, M. (2017). Gas leakage detection and smart alerting system using IoT. *International Journal of Computer Applications*, 165(8), 24–29.

- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Field, A., & Hole, G. (2017). *How to design and report experiments*. SAGE Publications.
- Fitriansyah, F., & Aryadillah. (2020). Penggunaan Telegram sebagai media komunikasi dalam pembelajaran online. *Jurnal Cakrawala*, 20(2), 1411–8629. Retrieved from <http://ejournal.bsi.ac.id.ejurnal/index.php/cakrawala>
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2019). *How to design and evaluate research in education* (10th ed.). McGraw-Hill Education.
- Gravetter, F. J., & Forzano, L. B. (2018). *Research methods for the behavioral sciences* (6th ed.). Cengage Learning.
- Haryanto, R. (2021). Pengertian gas dan karakteristiknya. *Jurnal Kimia dan Lingkungan*.
- Hidayat, R., dkk. (2021). Pemanfaatan quiz bot Telegram dalam pembelajaran menyimak bahasa Inggris. *Jurnal Penamas Adi Buana*, 4(2), 2622–5727.
- Horowitz, P., & Hill, W. (2015). *The art of electronics* (3rd ed.). Cambridge University Press.
- International Energy Agency. (2021). *World energy outlook 2021*. IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>
- Johnson, B., & Christensen, L. (2020). *Educational research: Quantitative, qualitative, and mixed approaches* (7th ed.). SAGE Publications.
- Kadir, A., & Susanto, E. (2020). *Pengantar Internet of Things (IoT): Konsep dan Implementasi*. Yogyakarta, Indonesia: Penerbit Andi.
- McLeod, S. (2019). What's the difference between qualitative and quantitative research? Simply Psychology. <https://www.simplypsychology.org>
- Monk, S. (2016). *Make: Electronics: Learning through discovery* (2nd ed.). Maker Media.
- Mubarak, R., & Hasibuan, M. (2021). Sistem monitoring kebocoran gas LPG berbasis IoT. *Journal of Applied Sciences and Technology*, 12(4), 300–305.
- Ozturk, I., & Bilgili, F. (2015). Economic growth and biomass consumption nexus: Dynamic panel analysis for Sub-Saharan African countries. *Applied Energy*, 137, 110–116. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.10.017>
- Platt, C. (2017). *Encyclopedia of electronic components: Volume 3*. Maker Media.
- Priyanka, P., & Rao, B. T. (2019). Smart home automation using IoT and ESP8266 module. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering (IJITEE)*, 8(9S2), 642–645.
- Rohi, M., Ningsih, T. K., & Nurhayati, O. D. (2020). Implementation of ESP8266 for internet of things (IoT) based smart home. *Journal of Physics: Conference Series*, 1569, 032073. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1569/3/032073>
- Roman, R., Zhou, J., & Lopez, J. (2013). On the features and challenges of security and privacy in distributed internet of things. *Computer Networks*, 57(10), 2266–2279. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2012.12.018>
- Sadiku, M. N. O. (2021). *Fundamentals of electric circuits* (7th ed.). McGraw-Hill Education.
- Singh, R., & Kapoor, A. (2021). Development of low-cost IoT system using ESP8266. *Materials Today: Proceedings*, 46(Part 5), 2080–2084. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.11.352>
- Tanwar, S., Tyagi, S., & Kumar, N. (2018). The role of Internet of Things and smart grid for the development of a smart city. In *Handbook of Smart Cities* (pp. 1–21). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76084-0_32-1
- Tsai, C. W., & Lai, C. F. (2017). Building a smart home security system using IoT and cloud networking technologies. *International Journal of Communication Systems*, 30(15), e3332. <https://doi.org/10.1002/dac.3332>
- Wang, Q., Feng, C., & Zhang, X. (2020). How urbanization process impacts energy consumption in China: A panel data analysis. *Energy Policy*, 139, 111356. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111356>
- Wulandari, G. H. (2018). Factors that influence the timeliness of publication of financial statements on banking in Indonesia. *TECHNOBIZ: International Journal of Business*, 1(1), 16. <https://doi.org/10.33365/tb.v1i1.201>