JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Vol. 9, No. 2, Desember 2024, Hal. 183-190 p-ISSN 2548-737X
Terakreditasi "**Peringkat 3**" oleh Kemenristek/BRIN, Nomor SK: 85/M/KPT/2020 e-ISSN 2548-8678
DOI: 10.31544/jtera.v9.i2.2024.183-190

Sistem Pemantauan Gejala Korona Berbasis IoT sebagai Alat Proteksi Jaringan Distribusi Tegangan Menengah

Erna Alimudin[1], Saepul Rahmat[2*], Riyani Prima Dewi[3], Betti Widianingsih[4], Arif Sumardiono[5]
[2,3,4] Electrical Engineering Study Program, Cilacap State of Polytechnic
[1,5] Electronic Engineering Study Program, Cilacap State of Polytechnic
Dr. Soetomo Street No 1 Cilacap, Indonesia
saepulrahmat@pnc.ac.id

Abstrak

Kegagalan isolasi peralatan listrik tegangan tinggi merupakan permasalahan utama yang dihadapi oleh penyedia jasa ketenagalistrikan, khususnya dalam menjaga keandalan penyaluran tenaga listrik. Salah satu factor penyebab kegagalan isolasi pada peralatan tinggi adalah efek korona yang mengakibatkan peralatan tenaga listrik mengalami kerusakan. Tujuan dari kegiatan penelitian ini adalah mengintegrasikan beberapa sensor untuk mendeteksi tanda tanda peralatan jaringan distribusi yang telah mengalami fenomena korona melalui pengamatan frekuensi, sinar UV, dan kadar gas ozon. Data masukan dari sejumlah sensor akan diproses oleh mikrokontroler dan melalui koneksi nirkabel Internet of Things akan ditampilkan melalui layar HMI Nextion di lokasi berbeda dan jika nilai yang dideteksi melebihi nilai referensi, mikrokontroler menginstruksikan alarm buzzer berbunyi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe alat pendeteksi korona mampu mengidentifikasi nilai kadar ozon sebesar 35 ppb, frekuensi desis rata rata sebesar 157 dB, serta spektrum cahaya UV sebesar 336 nm. Frekuensi desis peralatan akibat korona dan spektrum cahaya yang terbentuk telah melewati ambang batas standar. Kondisi tersebut telah memenuhi 2 dari 3 parameter yang menunjukkan bahwa peralatan distribusi telah mengalami efek korona.

Kata kunci: Efek Korona, Ozon, Sinar Ultraviolet, Distribusi, Sensor

Abstract

Failure of high-voltage electrical equipment insulation is a major problem faced by electricity service providers, especially in maintaining the reliability of electricity distribution. One of the factors causing insulation failure in high equipment is the corona effect which causes damage to electrical equipment. The purpose of this research activity is to integrate several sensors to detect signs of distribution network equipment that has experienced the corona phenomenon through observation of frequency, UV light, and ozone gas levels. Input data from several sensors will be processed by a microcontroller and through a wireless Internet of Things connection will be displayed on the Nextion HMI screen at different locations if the detected value exceeds the reference value, the microcontroller instructs the buzzer alarm to sound. The results of the study showed that the prototype corona detector was able to identify ozone levels of 35 ppb, an average hiss frequency of 157 dB, and a UV light spectrum of 336 nm. The hiss frequency of the equipment due to corona and the resulting light spectrum have exceeded the standard threshold. These conditions have met 2 of the 3 parameters indicating that the distribution equipment has experienced the corona effect.

Keywords: *Corona Effects, Ozone, Ultraviolet Light, Distribution, Sensor*

I. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu energi yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari. Penyaluran energi listrik dari pembangkit sampai ke konsumen memerlukan perhatian khusus dalam penyaluran tenaga listrik. Salah satu peralatan yang sangat penting dalam penyaluran tenaga listrik yang terdapat pada sistem distribusi adalah kubikel yang berfungsi sebagai penghubung, pelindung, dan

Diterima: 19 September 2024; Direvisi: 23 November 2024; Disetujui: 28 Desember 2024
JTERA, Vol. 9, No. 2, Desember 2024

© 2024 JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), Politeknik Sukabumi

pembagi daya listrik dari suatu sumber daya listrik[1].

Salah satu permasalahan yang terdapat pada kubikel adalah terjadinya kegagalan isolasi akibat fenomena tegangan tinggi. Salah satu fenomena tegangan tinggi yang menyebabkan kegagalan isolasi adalah korona, dimana aktivitas korona ini umumnya terjadi pada sistem tegangan tinggi[2]. Melihat dari kondisi beberapa permasalahan kubikel di Indonesia, banyaknya gangguan akibat kegagalan isolasi dikarenakan belum adanya peralatan dan metode yang dapat mendeteksi gejala tersebut sedini mungkin, sehingga perlu dilakukan pengujian dengan metode eksperimen terhadap terjadinya korona pada sistem kubikel 20 kV.

Efek korona yang terjadi pada kubikel tegangan menengah 20kv berlangsung secara berangsur-angsur. Ketika dua elektroda yang luas penampangnya kecil dibandingkan dengan jarak antara kedua elektroda tersebut diberi tegangan AC, maka dapat terjadi fenomena korona [3]. Ketika tegangan yang diberikan masih rendah, tidak akan terjadi apa-apa. Namun, jika tegangan dinaikkan, maka korona akan terjadi secara bertahap. Pada awalnya, akan ditandai dengan elektroda yang terlihat berpijar, tercium bau ozon, dan akan mengeluarkan suara mendesis [4]. Jika tegangan yang diberikan terus dinaikkan, maka akan semakin terlihat, terutama pada bagian yang tajam, kotor, atau kasar, kemudian cahayanya akan semakin terlihat, semakin membesar dan sangat terang. Jika tegangan dinaikkan terus-menerus, maka akan muncul busur api dan akan terjadi pelepasan panas. Ketika udara di sekitar elektroda lembap, maka korona akan menghasilkan asam nitrogen (nitrous acid) sehingga dapat menyebabkan elektroda berkarat jika rugi daya cukup besar [5].

Penelitian terdahulu yang membahas fenomena korona pada isolator atau kubikel distribusi telah banyak dilakukan [6]–[11]. Pada penelitian [12] dilakukan pengujian untuk membandingkan nilai tegangan korona hasil perhitungan terhadap pengaruh luas penampang elektroda dengan kondisi sebenarnya dengan cara merekam suara desisan korona yang terjadi dengan interval 20 cm ke atas.

Penelitian serupa dilakukan oleh [13] untuk memberikan suatu sistem baru yang dapat dimanfaatkan oleh perusahaan penyedia jasa ketenagalistrikan dalam hal penyaluran. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan dengan sistem baru tersebut dapat membuat kondisi suhu dan kelembaban dalam kubikel menjadi stabil sehingga dapat mengurangi efek korona pada kubikel 20 kV. Penelitian lain [14] menganalisis penanggulangan efek korona pada kubikel, kerugian-kerugian yang ditimbulkan oleh fenomena korona, dan pengaruh pada kubikel yang ditimbulkan oleh efek korona.

Berdasarkan kajian pustaka sebelumnya, belum pernah dilakukan implementasi penggunaan dua jenis sensor untuk mendeteksi efek korona yang terjadi pada kubikel tegangan menengah. Penggunaan sensor MQ 131 pada penelitian sejenis digunakan untuk mengukur kualitas udara, bukan untuk mendeteksi keberadaan gas ozon yang timbul saat korona terjadi pada penghantar kubikel [15].

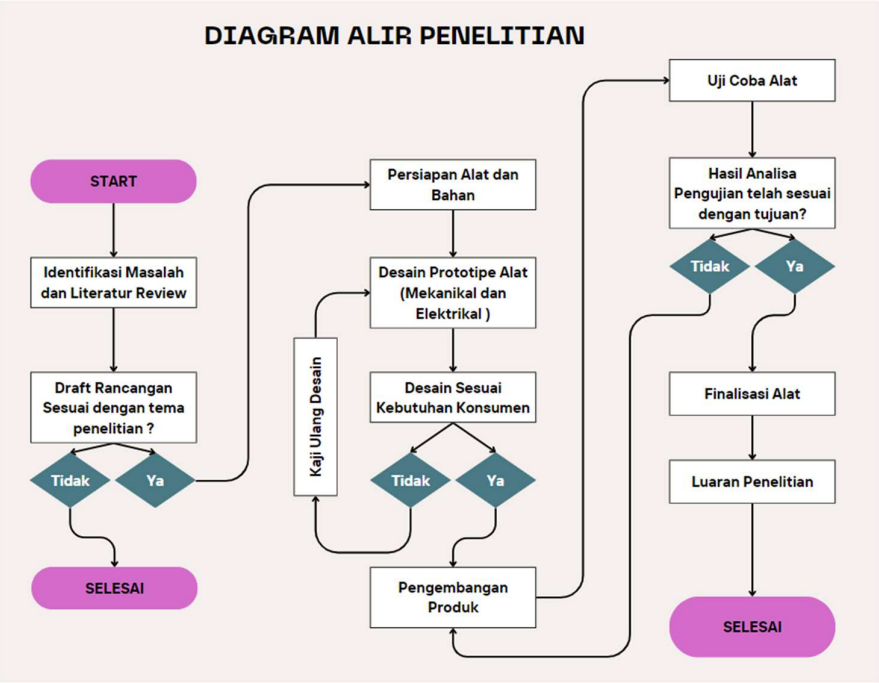
Pada penelitian ini akan dibuat alat deteksi efek korona berbasis mikrokontroler Arduino Mega sebagai pengendali utama dalam menentukan parameter terjadinya efek korona. Penggunaan sensor MQ131 dikarenakan sensor ini sensitif terhadap jenis gas ozon yang sering dihasilkan oleh penghantar saat korona terjadi, sensor UVtron untuk mendeteksi keberadaan sinar ultraviolet yang tidak tampak oleh mata manusia [16], kemudian mikrofon untuk mendeteksi frekuensi suara mendesis pada lingkungan peralatan yang mengalami efek korona.

Penelitian sebelumnya belum banyak membuat rancangan alat untuk mendeteksi efek korona, penelitian yang dilakukan hanya sampai pada tahap menganalisis terbentuknya efek korona pada kubikel. Penggunaan sensor yang digunakan juga mempunyai karakteristik yang berbeda-beda untuk diukur, misalnya saja penggunaan sensor DHT22 untuk mengukur kelembaban dan suhu pada kubikel dan juga penggunaan dua jenis sensor yaitu MQ7 dan MQ131 untuk monitoring kualitas udara [17]. Penelitian ini mempunyai kebaruan jenis kontroler yang digunakan yaitu Arduino Mega, penggunaan tiga jenis sensor untuk mengamati efek korona berdasarkan tanda-tanda efek korona dari literatur yang telah diteliti.

II. METODE PENELITIAN

A. *Diagram Alir*

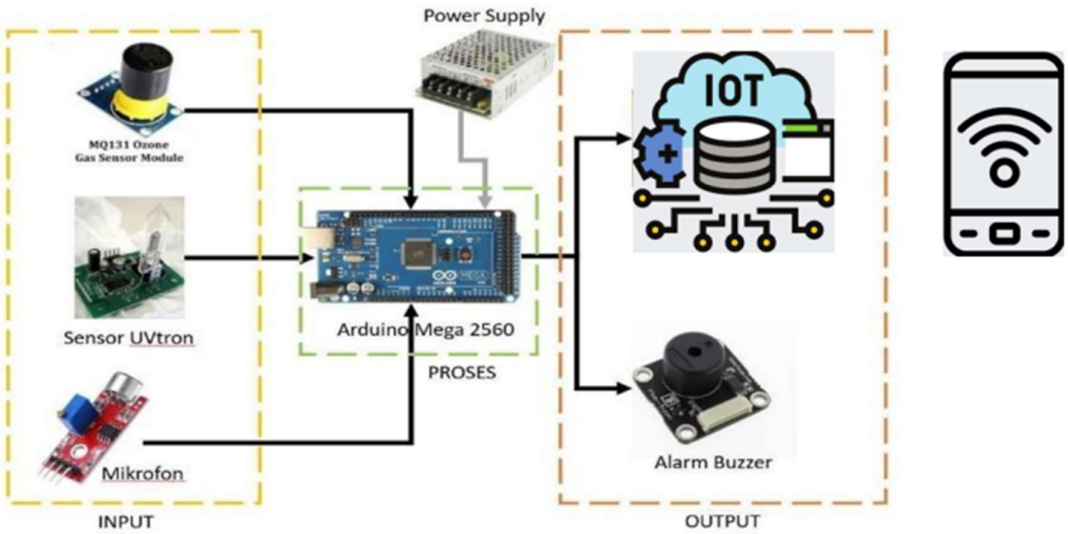
Penelitian ini bersifat eksperimental dengan tahapan percobaan sebagai berikut: (1) tahap perencanaan yang meliputi identifikasi masalah, studi lapangan, studi pustaka, penyusunan draft, dan rancangan alternatif; (2) tahap perancangan dan pembuatan alat yang meliputi gambar rancangan sistem mekanik dan elektrik, penyiapan material dan suku cadang, proses pembuatan, perancangan program kendali; (3) tahap pengujian dan analisis yang meliputi pengujian perangkat keras, pengujian perangkat lunak, pengujian mesin, dan analisis; dan (4) tahap finalisasi berupa perbaikan dari hasil analisis uji coba.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

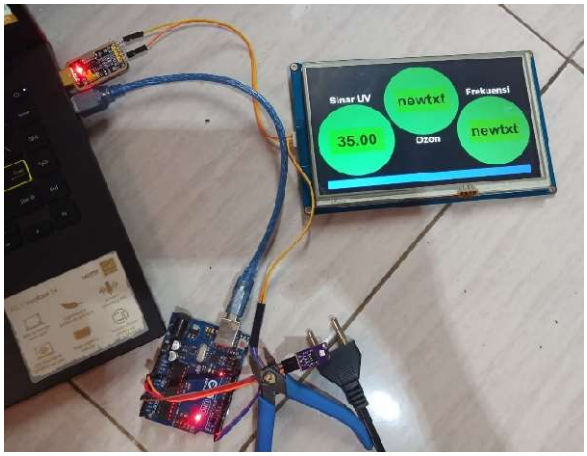
Pada penelitian pendahuluan, peneliti mengidentifikasi permasalahan yang ada pada permasalahan lilitan kumparan transformator melalui referensi yang diperoleh, melakukan studi lapangan, dan studi pustaka dalam mengidentifikasi teknologi apa saja yang sudah diterapkan dengan melihat referensi dari penelitian sebelumnya untuk memperoleh draft rancangan dan rancangan alternatif yang akan diterapkan. dilakukan pada kegiatan penelitian dan penerapan teknologi selanjutnya. Tahap awal penyusunan rancangan mekanik dan elektrik yaitu penyesuaian dengan kebutuhan spesifikasi peralatan serta melakukan uji coba alat. Setelah alat tersusun, langkah selanjutnya adalah melakukan pengumpulan data penelitian dan finalisasi alat untuk dilakukan perbaikan.

B. Desain dan Spesifikasi



Gambar 2. Blok Diagram Prototipe Alat Deteksi Korona berbasis IoT

Gambar 2 merupakan blok diagram alat pendeteksi korona pada kubikel. Sensor MQ131 berfungsi untuk mendeteksi gas ozon pada penghantar kubikel, sensor UVtron mendeteksi sinar ultraviolet, dan mikrofon mendeteksi frekuensi suara yang disebabkan oleh desisan pada permukaan penghantar. Program kendali dibuat pada komputer kemudian diunggah ke mikrokontroler. Mikrokontroler Arduino ATmega 2560 berfungsi sebagai otak yang mengelola data dan menentukan apakah ketiga parameter sebelumnya telah memenuhi kriteria peralatan yang mengalami fenomena korona.
Data yang diinputkan diproses sedemikian rupa dan disimpan dalam memori sebagai program nilai kondisi output yang diinginkan. Jika data yang diukur melebihi nilai yang telah ditetapkan melalui program, maka output LCD dan tampilan di software Blynk akan menampilkan peringatan korona di kubikel beserta nilai setiap parameter, dan alarm buzzer juga akan diaktifkan.

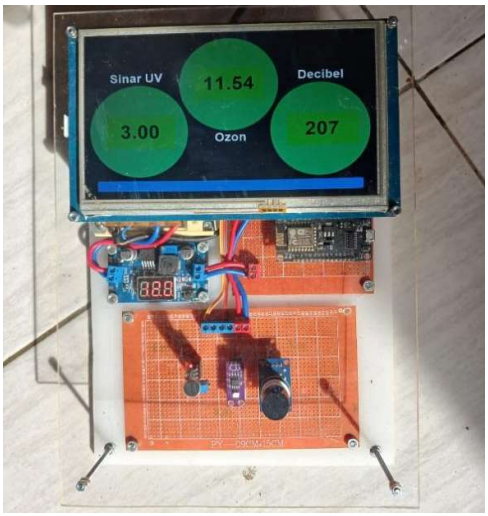


Gambar 3. Pengujian Komunikasi Antarmuka Prototipe Alat

Selain itu karena data akan diakusisi melalui Internet of Things melalui software Blynk, maka saluran komunikasi antara receiver dan transmitter perlu di uji agar data yang ditampilkan tetap akurat secara real time. Selain perancangan rangkaian elektrik untuk menguji komponen komponen yang akan digunakan dapat terhubung dan berfungsi dengan baik, juga perlu adanya pengujian listing program interfacing untuk menghubungkan antara mikrokontrol dengan sensor dan actuator yang dipakai dalam penelitian ini.
Uji validitas data dilakukan untuk mengukur kualitas data pengukuran sensor yang digunakan terhadap alat pengukuran yang standar sehingga error hasil pengukuran dapat diminimalkan. Sensor MQ131 akan dibandingkan hasil pengukurannya dengan alat pengukur kualitas udara dan juga ozon generator sehingga perbandingan pengukurannya dapat dibandingkan. Sensor mikrofon akan dikalibrasi menggunakan sound level meter untuk mengetahui sensitivitas hasil pengukuran, sedangkan sensor UVtron untuk mendeteksi pancaran cahaya ultraviolet akan dideteksi dengan menggunakan spectrophotometry.
Penelitian ini akan diujicobakan dalam skala laboratorium, sehingga tempat pelaksanaan penelitian yaitu di Laboratorium Mesin Listrik Politeknik Negeri Cilacap. Jika sistem sudah berjalan dan lolos uji coba laboratorium, maka dapat dijadikan referensi alat deteksi korona peralatan listrik di Kabupaten Cilacap.

III. ANALISIS HASIL PENELITIAN

A. Prototipe Alat Penelitian



Gambar 4. Prototipe Alat Deteksi Korona Multisensor

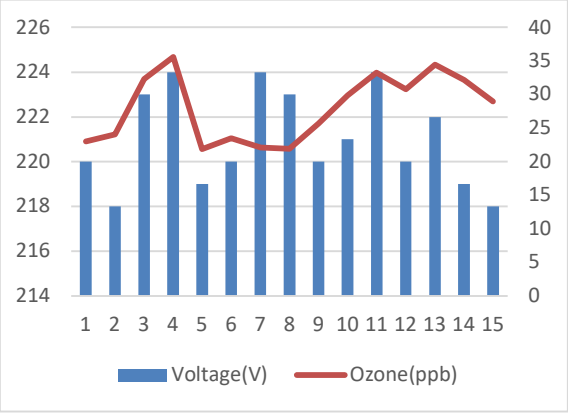
Gambar 4 merupakan prototipe alat deteksi efek korona dengan mengintegrasikan tiga buah sensor yaitu sensor MQ131 yang berfungsi untuk mendeteksi gas ozon di penghantar kubikel, sensor module UV akan mendeteksi cahaya ultraviolet, dan sensor mikrofon akan mendeteksi frekuensi suara yang diakibatkan oleh desis pada permukaan konduktor sesuai dengan desain yang direncanakan. Program pengendalian dibuat pada komputer kemudian diunggah (upload) pada mikrokontroler. Mikrokontroler Arduino ATmega 2560 berfungsi sebagai otak yang mengelola data dan menentukan apakah ketiga parameter sebelumnya sudah memenuhi kriteria peralatan mengalami fenomena korona. Data yang telah diinputkan diolah sedemikian rupa dan disimpan dalam memori

sebagai program dari nilai kondisi output yang diinginkan. Jika data yang diukur melebihi nilai yang telah diatur melalui program, maka output HMI Nextion akan menampilkan peringatan adanya korona pada kubikel beserta nilai setiap parameter, dan juga alarm buzzer akan diaktifkan.

Berdasarkan diagram blok proposal penelitian, maka penyusunan rangkaian elektrik prototipe alat dilakukan dengan menyesuaikan konfigurasi pin setiap komponen agar semua terhubung dan dapat beroperasi secara bersamaan. Terdapat komponen yang diubah atau ditambahkan untuk menyesuaikan spesifikasi alat, diantaranya adalah penggantian komponen sensor UV dengan nilai deteksi yang lebih tinggi karena spektrum cahaya UV korona bernilai tinggi. Adapun hasil penyusunan rangkaian elektrik ditunjukkan oleh gambar 2 dibawah ini

B. Pengukuran Gas Ozon

Hasil pengukuran ozon dengan tegangan konstan tegangan tiga fasa dilakukan untuk melihat nilai produksi ozon berdasarkan pemberian tegangan input konstan terhadap bertambahnya waktu. Untuk lebih jelasnya hasil pengukuran dapat dilihat pada gambar 5.

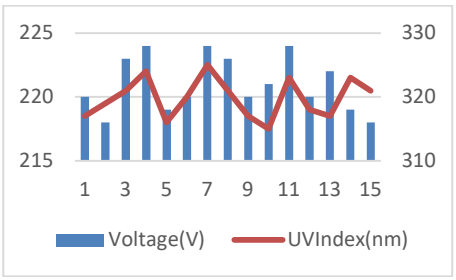


Gambar 5. Pengukuran Gas Ozon

Berdasarkan gambar 5, ozon tertinggi yang dihasilkan pada pengukuran ke-4 adalah 36 ppb, kemudian mengalami penurunan dan mengalami peningkatan dari menit ke1 sampai menit ke-15. Setelah itu, pengukuran ozon berangsur-angsur turun kembali seiring berjalannya waktu pada menit ke-20. Kemudian pengukuran ozon dilanjutkan dengan pemberian sumber tegangan tiga fasa.

C. Pengukuran Sinar UV

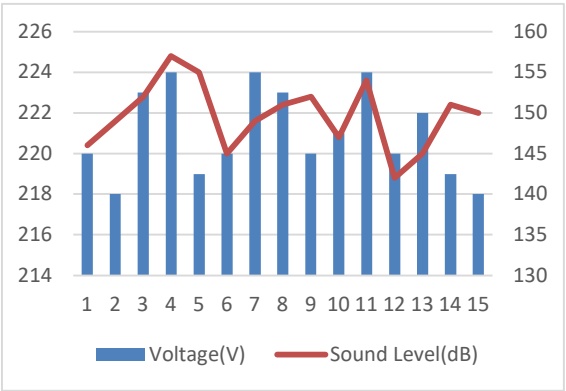
Hasil pengukuran ozon dengan tegangan konstan dilakukan untuk melihat nilai indeks UV yang dihasilkan pada peralatan distribusi tegangan. Berdasarkan hasil pengukuran dapat diketahui bahwa indeks UV berbanding lurus dengan bertambahnya waktu. Nilai indeks UV maksimum dari hasil pengukuran adalah 336 serta memiliki nilai diatas ambang batas sebesar 300 nm. Tren indeks sinar UV dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengukuran Sinar UV

D. Pengukuran Frekuensi Desis Akibat Korona

Hasil pengukuran ozon dengan tegangan konstan dilakukan untuk melihat nilai frekuensi desis yang dihasilkan pada peralatan distribusi tegangan. Berdasarkan hasil pengukuran dapat diketahui bahwa frekuensi desis suara berbanding lurus dengan perubahan nilai tegangan. Nilai maksimum frekuensi desis akibat gejala korona dari hasil pengukuran adalah 157 dB dan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Pengukuran Frekuensi Desis Efek Korona

Berdasarkan beberapa data pengujian diatas, dapat dilihat bahwa semua sensor yang digunakan dalam menyusun prototipe alat ini dapat berfungsi dan mengukur semua parameter yang dibutuhkan dalam menentukan kondisi peralatan apakah sudah terkena efek korona atau tidak. Hasil pengukuran sensor mq131 menunjukkan bahwa nilai konsentrasi gas ozon berbanding lurus dengan kenaikan tegangan yang diberikan. Modul sensor uv juga menunjukkan bahwa nilai indeks gelombang ultraviolet yang

dihasilkan disekitar peralatan cenderung mengalami kenaikan seiring dengan meningkatnya konsentrasi ozon yang dihasilkan dan juga frekuensi suara desis dari peralatan yang mengalami efek korona. Hasil pengukuran juga menunjukkan bahwa nilai frekuensi desis korona maksimum (157 dB) terjadi pada nilai ozon maksimum yang memiliki nilai sebesar 22,6 ppb. Hasil pengukuran dari tiga buah sensor akan ditampilkan melalui HMI Nextion yang berfungsi sebagai *Human Machine Interface* dan juga notifikasi akan dikirimkan ke smartphone melalui aplikasi Blynk seperti yang ditampilkan oleh Gambar 8.



Gambar 8. Tampilan Notifikasi Peringatan Gejala Korona di software Blynk

IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi gas ozon berbanding lurus dengan tegangan yang diberikan pada peralatan listrik. Berdasarkan hasil pengukuran, dapat diketahui bahwa indeks UV berbanding lurus dengan bertambahnya waktu dengan nilai maksimum 37 ppb. Hasil pengukuran juga menunjukkan bahwa nilai frekuensi desisan korona maksimum (157 dB) terjadi pada nilai ozon maksimum yang memiliki nilai sebesar 22,6 ppb. Gas ozon, indeks UV, dan frekuensi desisan merupakan tiga faktor utama yang mengindikasikan peralatan distribusi memiliki efek korona, dan prototipe alat multisensor untuk menguji kondisi peralatan pada kubikel jaringan distribusi ini mampu mendeteksi efek korona. Pengujian ini merupakan salah satu langkah pengembangan alat deteksi dan monitoring peralatan listrik khususnya di jaringan tegangan rendah sampai menengah. Pengembangan kedepan dapat ditingkatkan melalui penggunaan jenis sensor yang lebih sensitif serta resistan terhadap kompatibilitas elektromagnetik untuk meningkatkan hasil pengukuran.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Cilacap atas skema hibah Penelitian Dosen Pemula No 071/PL.43/Al.04/2024. Penulis juga mengapresiasi atas dukungan dan kolaborasi dari rekan sejawat dosen untuk mencapai luaran penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] L. Wei, Z. Hu, Y. Zhang, and Q. Wu, "Experimental Study on Ozone Generation and Ozone Oxidation to Removal Multi-Pollutant of Flue Gas," in 2010 4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, Chengdu, China, Jun. 2010, pp. 1–4. doi: 10.1109/ICBBE.2010.5515999.

[2] Y. Chung, K. Lee, and B. Lee, "Effect of the corona shield of the OMNI bipolar conventional air terminals," in 2016 International Conference on ElectroMagnetic Interference & Compatibility (INCEMIC), Bengaluru, India, Dec. 2016, pp. 1–4. doi: 10.1109/INCEMIC.2016.7921510.

[3] H. Javed, L. Kang, and G. Zhang, "The Study of Different Metals Effect on Ozone Generation Under Corona Discharge in MV Switchgear Used for Fault Diagnostic," in 2019 IEEE Asia Power and Energy Engineering Conference (APEEC), Chengdu, China, Mar. 2019, pp. 29–33. doi: 10.1109/APEEC.2019.8720699.

[4] A. Reguig, A. Bouteffaha, H. Boudra, A. Bendaoud, A. Tilmatine, and L. Dascalescu, "Effects of the presence of grounded shield in the proximity of high-voltage corona electrodes collection plates," in 2015 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Addison, TX, USA, Oct. 2015, pp. 1–6. doi: 10.1109/IAS.2015.7356771.

[5] P. Kitcharoen, B. Phoaphan, and P. Yutthagowith, "Design and Construction of An Ozone Generator Based on A Resonant Converter," in 2019 54th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), Bucharest, Romania, Sep. 2019, pp. 1–4. doi: 10.1109/UPEC.2019.8893494.

[6] L. Wei, Z. Hu, Y. Zhang, and Q. Wu, "Experimental Study on Ozone Generation and Ozone Oxidation to Removal Multi-Pollutant of Flue Gas," in 2010

4th International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, Chengdu, China, Jun. 2010, pp. 1–4. doi: 10.1109/ICBBE.2010.5515999.

[7] V. Tarasenko, V. Kuznetsov, V. Skakun, E. Baksht, V. Panarin, and E. Sosnin, "Ignition Different Mode of Corona Discharge in Air at Atmospheric Pressure," in 2020 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE), Tomsk, Russia, Sep. 2020, pp. 136–139. doi: 10.1109/EFRE47760.2020.9241997.

[8] H. Javed, K. Li, G. Zhang, and A. T. Plesca, "Online monitoring of partial discharge initiated under metallic protrusion defect in high humidity by measuring air decomposition by-products," in 2017 2nd International Conference on Power and Renewable Energy (ICPRE), Chengdu, Sep. 2017, pp. 244–249. doi: 10.1109/ICPRE.2017.8390536.

[9] M. Szczepanski, D. Malec, P. Maussion, B. Petitgas, and P. Manfe, "Ozone concentration impact on the lifespan of enameled wires (conventional and corona-resistant) for low voltage rotating machines fed by inverters," in 2017 IEEE Electrical Insulation Conference (EIC), Baltimore, MD, USA, Jun. 2017, pp. 443–446. doi: 10.1109/EIC.2017.8004637.

[10] K. Yanallah, F. Pontiga, A. Fernandez-Rueda, A. Castellanos, and A. Belasri, "Ozone generation using negative wire-to-cylinder corona discharge: the influence of anode composition and radius," in 2008 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, Quebec City, QC, Canada, Oct. 2008, pp. 607–610. doi: 10.1109/CEIDP.2008.4772880.

[11] X. Qi, T. Lu, W. Ma, L. Wang, S. Sun, and X. Bian, "Study of the contamination thicknesses effects on DC corona streamer pulses based on a corona cage," in 2015 IEEE 11th International Conference on the Properties and Applications of Dielectric Materials (ICPADM), Sydney, Australia, Jul. 2015, pp. 915–918. doi: 10.1109/ICPADM.2015.7295422.

[12] Rahmat, S., Prima Dewi, R., Abdi Musyafiq, A., & Purnata, H. (2022). Implementation of Multi-sensors to Detect Corona Effects in Medium Voltage Distribution Cubicles. JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa), 7(2). https://doi.org/10.31544/jtera.v7.i2.2022.289-294

[13] Y. Li, Y. Li, L. Shi, and S. Qiu, "Study on corona current measurement with probe suspended in the vertical static electric field," in 2015 7th Asia-Pacific Conference on Environmental Electromagnetics (CEEM), Hangzhou, China, Nov. 2015, pp. 128–131. doi: 10.1109/CEEM.2015.7368646.

[14] Md. Ashiquzzaman, S. Mitra, N. M. Molla, T. Chakma, and K. F. Nasrin, "Testing of Dielectric Strength of Transformer Oil, Insulation Paper and Corona Effect of Wire," in 2020 IEEE Region 10 Symposium (TENSYMP), Dhaka, Bangladesh, 2020, pp. 1026–1029. doi: 10.1109/TENSYMP50017.2020.9230655.

[15] T. Ohkubo, S. Hamasaki, Y. Nomoto, J. S. Chang, and T. Adachi, "The effect of corona wire heating on the ozone generations in an air cleaning electrostatic precipitator," in Conference Record of the 1988 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, Pittsburgh, PA, USA, 1988, pp. 1647–1651. doi: 10.1109/IAS.1988.25279.

[16] D. Rengarajan and V. N. Patil, "Shakthi Prasad D, Subba Reddy B, Alok R Verma, High Voltage Laboratory, Dept. of Electrical Engg. Indian Institute of Science, Bangalore, India e-mail: reddy@ee.iisc.ernet.in," p. 5, 2015.

[17] Xingming Bian, Liming Wang, Yunpeng Liu, Yingjian Yang, and Zhicheng Guan, "High Altitude Effect on Corona Inception Voltages of DC Power Transmission Conductors Based on the Mobile Corona Cage," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 28, no. 3, pp. 1971–1973, Jul. 2013, doi: 10.1109/TPWRD.2013.2258818.

[18] T. Lu, G. Xiong, X. Cui, H. Rao, and Q. Wang, "Analysis of Corona Onset Electric Field Considering the Effect of Space Charges," IEEE Trans. Magn., vol. 47, no. 5, pp. 1390–1393, May 2011, doi: 10.1109/TMAG.2010.2081972.