

## Deteksi Gas Pada Minyak Transformator Berbasis Mikrokontroler

Nurmaisinta\*, Kartika

Jurusan Teknik Elektro/Fakultas Teknik – Universitas Malikussaleh  
Lhokseumawe, Indonesia

\*nurmaisinta.180150078@mhs.unimal.ac.id

**Abstract**— The rapid development of technological advances has increased the importance of electricity in people's lives. The need for the availability of electrical energy is growing with the development of household and industrial equipment technology that uses electrical energy as a power source, so a reliable system is needed to distribute electrical energy from the power plant to consumers. A transformer is an essential equipment in the electric power system to transmit electrical energy from one circuit to another that operates using magnetic-electric induction. Inside the transformer is transformer oil, which functions as an insulating medium and cooling on the central part of the transformer. As insulation and cooler, it is necessary to maintain the transformer to operate normally without any disturbance. One way to find out the condition of the transformer is by observing the transformer oil. One way to monitor the state of the transformer oil is by testing the gas content in the transformer oil. After the test is carried out, a diagnosis of the condition of the transformer oil can be made as one of the most effective ways to monitor the state of the transformer.

**Abstrak**— Perkembangan kemajuan teknologi yang kian pesat telah meningkatkan pentingnya listrik dalam kehidupan masyarakat. Kebutuhan akan ketersediaan energi listrik semakin meningkat dengan adanya perkembangan teknologi peralatan rumah tangga dan industri yang menggunakan energi listrik sebagai sumber tenaga sehingga untuk menyalurkan energi listrik dari pusat pembangkit kepada konsumen diperlukan suatu sistem yang handal. Salah satu peralatan terpenting dalam sistem tenaga listrik yang digunakan untuk mentransmisikan energi listrik dari satu sirkuit ke sirkuit yang lain yang beroperasi dengan menggunakan induksi magnet elektrik adalah transformator. Di dalam transformator terdapat minyak transformator yang berfungsi untuk media isolasi sekaligus pendingin pada bagian utama transformator. Sebagai isolasi dan pendingin maka perlu dilakukan perawatan transformator supaya dapat beroperasi dengan normal tanpa ada gangguan. Salah satu cara untuk mengetahui kondisi transformator dilakukan pengamatan pada minyak transformator. Pengamatan kondisi minyak transformator dilakukan dengan salah satu cara yaitu pengujian kandungan gas pada minyak transformator. Setelah pengujian dilakukan maka dapat diagnosis kondisi minyak transformator sebagai salah satu cara paling efektif dalam memantau kondisi transformator.

**Kata Kunci**— Transformator; Arduino Uno; Sensor MG-811; Sensor MQ-6; Sensor MQ-2.

### I. PENDAHULUAN

**E**NERGI listrik konsumen secara berkelanjutan telah meningkat sehingga sistem kelistrikan harus dijaga agar dapat beroperasi secara optimal. Salah satu peralatan terpenting dalam sistem tenaga listrik yang digunakan untuk mentransmisikan energi listrik dari satu sirkuit ke sirkuit yang lain yang menggunakan induksi magnet elektrik adalah transformator [1, 2]. Di dalam transformator terdapat minyak transformator yang berfungsi sebagai media isolasi sekaligus pendingin pada bagian utama transformator. Minyak transformator berfungsi sebagai media pendingin yang mengantisipasi kenaikan suhu pada transformator. Adanya kenaikan suhu yang berlebihan dapat merusak isolasi kertas pada kumparan (*coil*) di dalam transformator. Pemanasan pada belitan transformator dapat merusak isolasi dan

kenaikan suhu minyak akan mengubah komposisi serta sifat minyak transformator [3–6]. Pembebanan yang berlebihan dapat menyebabkan minyak transformator memuai dan mengeluarkan gas-gas yang larut dalam minyak [7]. Gas-gas ini kemudian akan mengendap dan terkontaminasi dengan minyak sehingga mengurangi kemampuan isolasi minyak. Dengan adanya tingkat pembebanan yang berbeda dapat mengakibatkan timbulnya gas-gas terlarut yang ada dalam minyak transformator. Beberapa gas yang timbul mempunyai sifat mudah terbakar (*combustible*). Apabila gas tersebut melebihi batas kelarutan pada minyak transformator maka akan menimbulkan gangguan pada transformator yang sedang beroperasi [8–10].

Transformator adalah perangkat elektromagnetik statis yang digunakan untuk memindahkan/mengubah energi listrik dari satu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lainnya. Kerusakan pada transformator distribusi dapat menyebabkan kontinuitas pelayanan terhadap konsumen akan terganggu (terjadinya pemutusan arus

**Naskah diterima** 19 Desember 2022, revisi 12 Maret 2023, terbit online 23 Maret 2023. **Emitor** merupakan Jurnal Teknik Elektro – Universitas Muhammadiyah Surakarta yang terakreditasi dengan Sinta 3 beralamat di <https://journals2.ums.ac.id/index.php/emitor/index>.

listrik atau pemadaman). Pemadaman merupakan suatu kerugian yang dapat menyebabkan biaya-biaya pembangkitan akan meningkat tergantung harga kWh yang tidak terjual. Pemilihan daya transformator distribusi yang tidak memenuhi persyaratan, beban yang kurang efisien, penempatan lokasi trafo distribusi yang tidak sesuai akan mempengaruhi penurunan tegangan pada sisi ujung konsumen atau listrik.

Transformator adalah komponen elektromagnetik yang mengubah tegangan tinggi menjadi tegangan rendah, atau sebaliknya dengan frekuensi yang sama [11]. Transformator dapat mengalami gangguan-gangguan yang dikelompokkan menjadi 2 (dua) bagian, yaitu gangguan internal dan gangguan eksternal. Gangguan internal meliputi terjadinya busur api kecil dan pemanasan lokal, gangguan pada sistem pendingin, dan gangguan hubung singkat. Terjadinya busur api kecil dan pemanasan lokal disebabkan oleh cara penyambungan kumparan yang kurang baik dan kerusakan isolasi dari penjepit inti. Gangguan pada sistem pendingin akan menyebabkan terjadinya pemanasan lokal tetapi tidak mempengaruhi suhu transformator secara keseluruhan [11–13].

Gangguan hubung singkat pada umumnya dapat terdeteksi karena akan selalu timbul arus/tegangan yang tidak normal/tidak seimbang. Jenis gangguan hubung singkat antara lain hubung singkat fasa ke tanah, hubung singkat antar fasa pada kumparan yang sama, dan gangguan pada terminal transformator. Gangguan eksternal yang berupa gangguan hubung singkat di luar transformator biasanya dapat segera dideteksi karena menimbulkan arus yang sangat besar yang dapat mencapai beberapa kali arus nominal seperti hubung singkat di rel, hubung singkat pada penyulang (*feeder*), hubung singkat pada *incoming feeder* transformator tersebut. Gangguan eksternal yang berupa beban lebih transformator dapat beroperasi secara terus-menerus pada arus beban nominalnya.

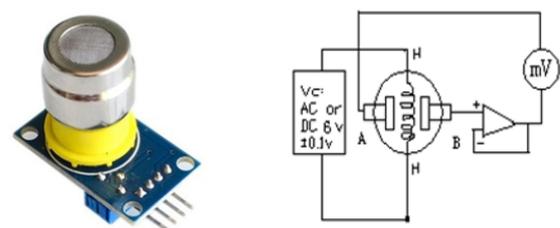
Apabila beban yang dilayani lebih besar dari 100%, maka akan terjadi pembebanan lebih. Hal ini dapat menimbulkan pemanasan yang berlebih. Kondisi ini mungkin tidak akan menimbulkan kerusakan, tetapi apabila berlangsung secara terus-menerus akan memperpendek umur isolasi [11]. Gangguan eksternal yang berupa gelombang surja dapat terjadi karena cuaca, yaitu petir yang menyambar jaringan transmisi atau distribusi dan kemudian akan merambat ke gardu terdekat dimana transformator terpasang. Walaupun hanya terjadi dalam kurun waktu sangat singkat (beberapa puluh mikrodetik), akan tetapi karena tegangan puncak yang dimiliki cukup tinggi maka dapat menyebabkan kerusakan pada transformator [11].

Minyak transformator merupakan komponen trans-

formator yang paling banyak mengalami tegangan selama beroperasi. Dengan demikian kondisi minyak transformator harus diperiksa secara teratur untuk memastikan dapat bekerja dengan baik [14–16]. Kenaikan suhu akibat pembebanan yang berlebihan pada transformator akan mengakibatkan efek panas. Setiap kenaikan suhu pada batas yang lebih besar  $6^{\circ}\text{C}$  akan menyebabkan umur transformator mengalami penuaan. *IEC (International Electrotechnical Commission)* menetapkan umur transformator hanya berkisar 20 tahun [3].

Munculnya gas terlarut dalam transformator seringkali merupakan indikasi pertama dari potensi gangguan yang terjadi. Gangguan tersebut dapat disebabkan oleh faktor-faktor seperti kadar air dan kadar asam. Gas yang mudah terbakar (*combustible gas*) antara lain hidrogen ( $\text{H}_2$ ), metana ( $\text{CH}_4$ ), etana ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), etilen ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ), karbondioksida ( $\text{CO}_2$ ), dan karbon monoksida ( $\text{CO}$ ).

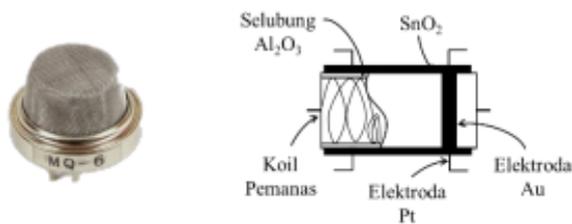
Sensor MG-811 seperti ditunjukkan pada gambar 1 merupakan sensor yang dapat mendeteksi gas karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ ) dengan sensitivitas yang tinggi di dalam suatu ruangan. Sensor ini dapat mendeteksi konsentrasi gas  $\text{CO}_2$  efektif pada konsentrasi 350-10000 ppm. MG-811 dapat melakukan pendeteksian pada temperatur  $-20 - 50^{\circ}\text{C}$ . Sensor ini akan aktif ketika diberikan tegangan pada pin  $V_{cc}$  sebesar 6 V baik pada tegangan AC atau DC. Sensor ini juga memiliki sebuah pemanas (*heater*) yang membutuhkan tegangan 6 V agar dapat bekerja.



**Gambar 1:** Bentuk fisik sensor MG-811

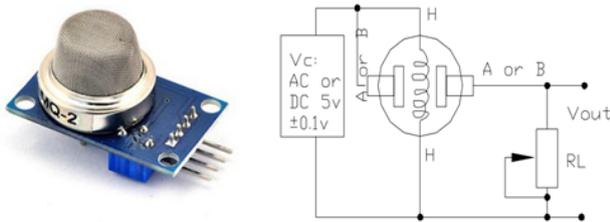
Sensor MQ-6 seperti ditunjukkan pada gambar 2 merupakan sensor gas yang biasa digunakan untuk mendeteksi gas LPG (*Liquefied Petroleum Gas*). Sensor ini juga dapat mendeteksi gas etana, karena di dalam gas LPG terkandung gas etana sebesar 40% [17, 18]. Bahan sensitif sensor MQ-6 adalah  $\text{SnO}_2$ , dengan konduktivitas yang lebih rendah di udara bersih. Ketika gas yang mudah terbakar ada, konduktivitas sensor lebih tinggi dengan meningkatnya konsentrasi gas. Sensor ini dapat mendeteksi konsentrasi pada sensor 200-10000 ppm. Sensor MQ-6 dapat melakukan pendeteksian pada temperatur  $20^{\circ}\text{C}$  dengan batas toleransi  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ .

Sensor MQ-2 seperti ditunjukkan pada gambar 3 merupakan sensor gas yang biasa digunakan untuk mendeteksi gas LPG (*Liquefied Petroleum Gas*). Sensor



**Gambar 2:** Bentuk fisik sensor MQ-6, konfigurasi dan struktur sensor MQ-6

ini juga dapat mendeteksi gas etilen, karena di dalam gas LPG terkandung gas etilen sebesar 10%. Nilai resistansi MQ-2 berbeda untuk berbagai jenis dan berbagai konsentrasi gas. Saat menggunakan komponen ini, penyesuaian sensitivitas sangat diperlukan dengan mengkalibrasi detektor untuk 1000 ppm bahan bakar gas cair. Ketika mengukur dengan akurat, titik alarm yang tepat untuk detektor gas harus ditentukan setelah mempertimbangkan pengaruh suhu dan kelembaban.

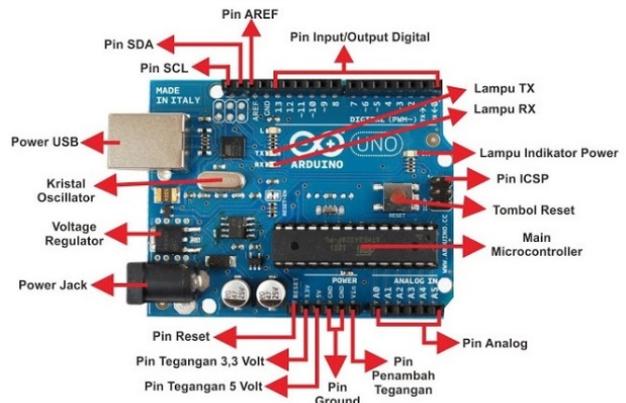


**Gambar 3:** Bentuk fisik sensor MQ-2 Arduino Uno

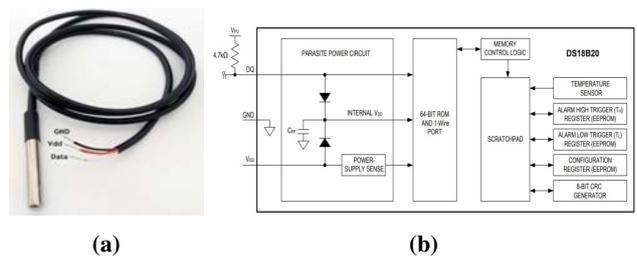
Arduino uno seperti ditunjukkan pada gambar 4 merupakan sebuah papan mikrokontroler yang berbasis chip ATmega328P. Arduino uno memiliki 14 digital pin *input/output* (atau biasa ditulis I/O, dimana 14 pin diantaranya digunakan sebagai *output PWM* antara lain pin 0 sampai 13), 6 pin *input analog* menggunakan crystal 16 MHz antara lain pin A0 sampai A5, koneksi USB, jack listrik, *header ICSP* dan tombol reset. Arduino uno memuat semua yang diperlukan untuk menunjang mikrokontroler, praktis menghubungkannya ke sebuah komputer dengan kabel USB atau menyuplainya dengan adaptor AC ke DC menggunakan baterai untuk memulainya [19, 20].

Sensor DS18B20 seperti ditunjukkan pada gambar 5 merupakan sensor suhu digital seri terbaru Maxim IC. Sensor ini dapat membaca suhu dengan akurasi 9-bit hingga 12-bit pada rentang 55°C hingga 125°C ( $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ). Setiap sensor yang diproduksi memiliki kode 64-bit unik yang disematkan pada setiap chip, memungkinkan penggunaan sejumlah besar sensor melalui kabel tunggal (*single wire data bus/1-wire protocol*) [11].

LCD merupakan salah satu komponen penting karena LCD dapat menampilkan perintah-perintah yang



**Gambar 4:** Konfigurasi Pin Arduino

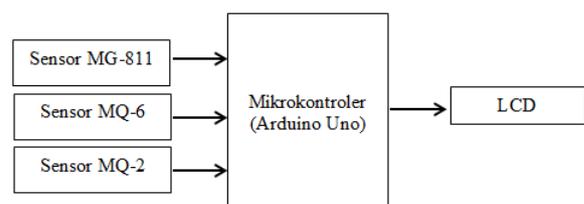


**Gambar 5:** (a) Bentuk fisik DS18B20; (b) Blok diagram sensor

harus dijalankan. Layar LCD menggunakan dua buah lembaran beban yang bisa mempolarisasikan kristal cair di antara kedua lembaran tersebut. Kegunaan LCD banyak digunakan dalam perancangan suatu sistem dengan menggunakan mikrokontroler. LCD bisa berfungsi menampilkan suatu nilai hasil sensor, menampilkan teks, atau menampilkan menu pada perangkat lunak mikrokontroler.

## II. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini penulis menggunakan metode penelitian dengan bertahap yang terdiri dari langkah, prosedur, dan teknik tertentu. Sebelum melakukan perakitan alat yang akan dibuat dan diuji dilakukan tahap awal untuk mengetahui komponen-komponen yang akan digunakan sebagai masukan (*input*) atau keluaran (*output*) seperti ditunjukkan pada gambar 6.



**Gambar 6:** Komponen *input* dan *output*

Sensor MG-811 berfungsi untuk mendeteksi kadar

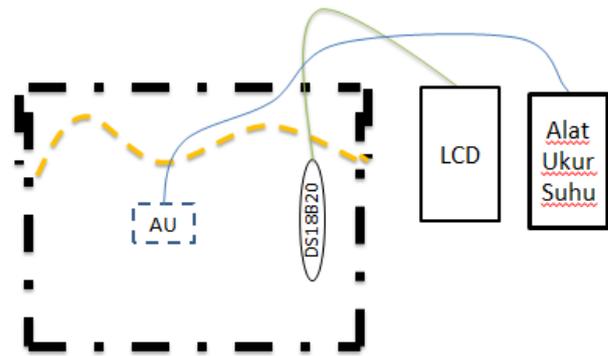
gas karbondioksida, sensor MQ-6 berfungsi untuk mendeteksi kadar gas etana, dan sensor MQ-2 berfungsi untuk mendeteksi kadar gas etilen. Sensor ini berupa tegangan analog, tegangan tersebut dikirimkan ke bagian-bagian pin pengendali (arduino) dan kemudian akan dikonversi dalam bentuk digital dengan fitur ADC (*Analog to Digital Converter*) pada mikrokontroler. Blok pengendali ini berisi sebuah mikrokontroler berupa modul arduino uno. Blok *output* yaitu blok yang berfungsi untuk menampilkan hasil proses yang telah dijalankan oleh mikrokontroler. Blok ini berupa tampilan dari LCD. Blok catu daya berfungsi untuk memberikan sumber tegangan pada mikrokontroler.

Identifikasi kebutuhan adalah langkah pertama dalam proses pembuatan alat yang bertujuan untuk mengetahui apa saja yang dibutuhkan pada tahap penelitian ini. Perancangan alat mencakup perancangan *hardware* dan perancangan *software* yang digunakan. Perancangan perangkat keras meliputi perancangan dan pembuatan panel kontrol pendeteksi gas minyak transformator, perancangan elektronik, sensor MG-811, sensor MQ-6, sensor MQ-2, Arduino Uno, LCD I2C, dan *Power Supply*. Perancangan alat pendeteksi kadar gas minyak transformator meliputi spesifikasi alat, perancangan mekanik, perancangan elektronik, dan perancangan *software*.

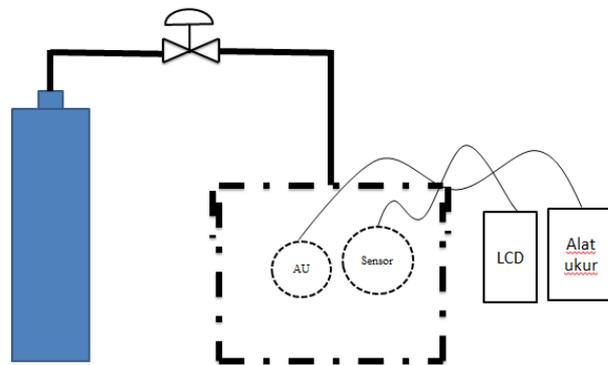
Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini mencakup pengujian fungsional dan kinerja sistem secara keseluruhan. Pengujian fungsional terbagi 3 yaitu pengujian sensor DS18B20, sensor  $CO_2$ , sensor  $C_2H_6$  dan sensor  $C_2H_4$ . Pengujian sensor DS18B20 seperti ditunjukkan pada gambar 7 dilakukan dengan mengupload program khusus untuk tegangan dan membuat rangkaian pengujian. Pengujian sensor  $CO_2$  bertujuan untuk mengukur kadar gas karbondioksida yang terdapat pada minyak transformator. Pengujian sensor  $C_2H_6$  bertujuan untuk mengukur kadar gas pada etana yang terdapat pada minyak transformator. Pengujian sensor  $C_2H_4$  dilakukan untuk mengukur kadar gas etilen yang terdapat pada minyak transformator. Pengujian kinerja keseluruhan alat pendeteksi kadar gas pada minyak transformator seperti ditunjukkan pada gambar 8 yaitu menjalankan keseluruhan sistem baik *input*, proses dan *output*. Pengujian kinerja keseluruhan alat pendeteksi kadar gas pada minyak transformator dilakukan untuk mengetahui kinerja dari alat. Pengujian ini lebih cenderung memperhatikan *output* hasil yang ditampilkan pada LCD I2C.

### III. HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

Panel kontrol alat pendeteksi gas dibuat dengan menggunakan bahan akrilik dengan ketebalan 3 mm pada sisi kanan dan kiri, 3 mm pada sisi atas dan bawah se-



Gambar 7: Pengujian Sensor DS18B20



Gambar 8: Pengujian Sensor

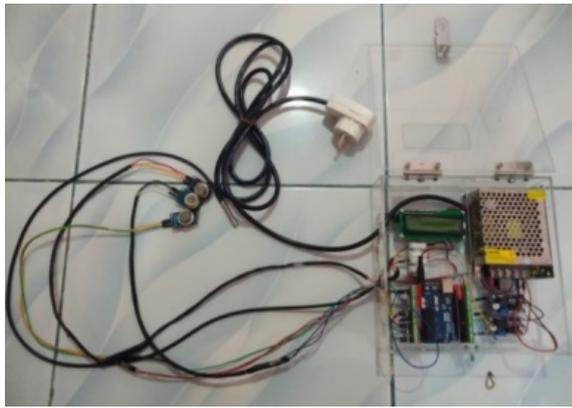
perti ditunjukkan pada gambar 9. Tampilan atas panel kontrol dilengkapi dengan LCD yang berukuran 16 x 2 mm dan pada pipa diletakkan sensor  $CO_2$ , sensor  $C_2H_6$ , sensor  $C_2H_4$  dan sensor suhu DS18B20.



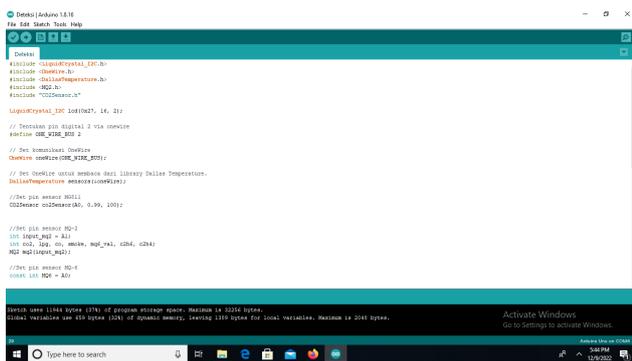
Gambar 9: Hasil Perancangan Mekanik

Komponen elektronik yang digunakan untuk membuat alat meliputi sensor  $CO_2$ , sensor  $C_2H_6$ , sensor  $C_2H_4$ , sensor DS18B20, Arduino Uno, LCD I2C dan *power supply* seperti ditunjukkan pada gambar 10. Program yang dibuat harus sesuai dengan kebutuhan pada penelitian. Program pada Arduino Uno memiliki pustaka MQ Unified sensor, MG-811 Library Solfeq, dan LiquidCrystal<sub>i2c</sub>. Hasil perancangan programnya ditunjukkan pada gambar 11.

Pengujian sensor DS18B20 yang hasilnya ditunjukkan pada tabel 1 bertujuan untuk melihat tingkat



Gambar 10: Hasil Perancangan Elektronik



Gambar 11: Hasil perancangan Program

keakuratan dari sensor dalam pengukuran suhu dapat berjalan dengan baik atau tidak. Perubahan suhu pada tabel 1 memiliki nilai rata-rata 0,04123%, untuk nilai standar deviasi pada sensor DS18B20 memiliki nilai sebesar 0,00315<sup>0</sup>C. Pengujian sensor DS18B20 dilakukan sebanyak 7 kali. Salah satu hasil pengukuran suhu oleh sensor bernilai 30,94<sup>0</sup>C ditunjukkan pada gambar 12.

Pengujian sensor CO<sub>2</sub> dilakukan sebanyak 5 kali dalam ruangan tertutup. Sumber karbondioksida (CO<sub>2</sub>) yang digunakan untuk pengujian berasal dari asap kertas yang dibakar dalam ruangan tertutup. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 2. Sensor CO<sub>2</sub> mendeteksi nilai karbondioksida pada rentang > 1000 ppm. Hasil pengujian 4 dan pengujian 5 dianggap sebagai deteksi yang tidak benar (tidak valid) dari sensor. Hal ini ditunjukkan dengan adanya penurunan nilai secara drastis.

Pengujian sensor C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> untuk mendeteksi gas etana dilakukan sebanyak 5 kali dengan kondisi tidak ada gas dan ada gas. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 3. Hasil pengujian menunjukkan sensor berhasil mendeteksi adanya gas tersebut dengan satuan ppm dan menunjukkan angka yang benar pada setiap pengujian yang sudah dilakukan.

Pengujian sensor C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> untuk mendeteksi gas etilen dilakukan sebanyak 5 kali dengan kondisi tidak ada gas dan ada gas. Hasil pengujian dapat dilihat pada

tabel 4. Hasil pengujian menunjukkan sensor C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> berhasil mendeteksi gas etilen yang terkandung di dalam gas LPG. Pengujian sensor berhasil mendeteksi nilai gas tersebut dengan satuan ppm dan menunjukkan angka yang benar pada pengujian 1 sampai pengujian 4, namun pada pengujian 5 nilai gas tiba-tiba turun drastis dan dianggap sebagai nilai yang tidak benar (tidak valid) dari sensor tersebut.



Gambar 12: Hasil Pengujian Sensor Suhu

Tabel 1: Hasil Pengujian Sensor DS18B20

No	Suhu thermometer (°C)	Suhu DS18B20 (°C)	Error (%)
1	35	35,31	0,00857
2	40	40,20	0,005
3	45	45,32	0,00711
4	50	50,00	0
5	55	55,43	0,00781
6	60	60,23	0,00383
7	65	65,56	0,00861
Rata-rata			0,04123
Nilai SD			0,00315

Tabel 2: Hasil Pengujian Sensor CO<sub>2</sub>

No	Tahap Pengujian	Kondisi	Nilai Sensor
1	Pengujian 1	Tidak Ada Gas	0
2	Pengujian 2		0
3	Pengujian 3		3
4	Pengujian 4		0
5	Pengujian 5		1
6	Pengujian 1	Ada Gas	1222
7	Pengujian 2		1432
8	Pengujian 3		1552
9	Pengujian 4		26
10	Pengujian 5		10

Pengujian keseluruhan pada gambar 13 dilakukan dengan menggunakan minyak transformator yang sudah dipanaskan terlebih dahulu dengan menggunakan heater. Hasil pengukuran sensor MG-811, MQ-2, MQ-6 dan DS18B20 diproses lebih lanjut dan ditampilkan pada LCD I2C. Setiap bagian dalam alat ini telah bekerja sesuai dengan fungsi masing-masing. Pengujian dilakukan pada minyak transformator untuk mengetahui

**Tabel 3:** Hasil Pengujian Sensor  $C_2H_6$ 

No	Tahap Pengujian	Kondisi	Nilai Sensor
1	Pengujian 1		0
2	Pengujian 2		0
3	Pengujian 3	Tidak Ada Gas	0
4	Pengujian 4		0
5	Pengujian 5		0
6	Pengujian 1		1905
7	Pengujian 2		2048
8	Pengujian 3	Ada Gas	3500
9	Pengujian 4		3762
10	Pengujian 5		3931

**Tabel 4:** Hasil Pengujian Sensor  $C_2H_4$ 

No	Tahap Pengujian	Kondisi	Nilai Sensor
1	Pengujian 1		0
2	Pengujian 2		0
3	Pengujian 3	Tidak Ada Gas	0
4	Pengujian 4		0
5	Pengujian 5		0
6	Pengujian 1		1552
7	Pengujian 2		2368
8	Pengujian 3	Ada Gas	1402
9	Pengujian 4		2168
10	Pengujian 5		268

**Tabel 5:** Hasil Pengujian Keseluruhan

Pengujian	MG-811	MQ-6	MQ-2	DS18B20 ( $^{\circ}C$ )
1	328	28	21	30
2	345	33	23	35
3	361	34	25	40
4	412	36	28	45
5	467	39	29	50
6	489	41	32	55

hasil *output* pada LCD panel kontrol. *Output* dari hasil LCD akan menampilkan kadar gas karbondioksida ( $CO_2$ ), etana ( $C_2H_6$ ), etilen ( $C_2H_4$ ) dan suhu DS18B20 sebagaimana ditunjukkan pada tabel 5. Berdasarkan tabel hasil pengujian berhasil membaca parameter gas karbondioksida, etana, etilen dan suhu. Untuk kadar gas karbondioksida pada minyak transformator yang terbaca mulai dari 328 ppm sampai dengan 489 ppm, gas etana mulai dari 28 ppm sampai dengan 41 ppm, gas etilen mulai dari 21 ppm sampai dengan 32 ppm. Berdasarkan tabel hasil pengujian keseluruhan bahwa kadar gas pada minyak transformator terus meningkat secara terus-menerus.

**Gambar 13:** Hasil Pengujian Keseluruhan

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan dari rancang bangun alat pendeteksi kadar gas karbon dioksida ( $CO_2$ ), etana ( $C_2H_6$ ), dan etilen ( $C_2H_4$ ) pada minyak transformator maka dapat ditarik kesimpulan temperatur pada minyak transformator semakin meningkat yang mengakibatkan kadar gas yang ada pada minyak transformator juga meningkat. Menurut analisis *key gas*, gas etilen dapat menyebabkan gangguan pemanasan minyak (*overheating of oil*) jika kadar gas pada etilen sebesar 63% dan etana 20%. Sensor yang digunakan dalam penelitian ini bukan merupakan sensor yang dikhususkan untuk mendeteksi gas etana dan etilen. Peneliti mengambil nilai persentase masing-masing gas yang dideteksi terhadap gas LPG yang merupakan fungsi utama dari kedua sensor, pada gas LPG terdapat 40% gas etana dan 10% gas etilen.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Syahputra, Y. Yusmartato, R. Nasution, dan Y. Yusniati, "Pengoperasian transformator dengan menggunakan tap changer aplikasi gardu induk denai," *JET (Journal of Electrical Technology)*, vol. 5, no. 2, pp. 53–60, 2020.
- [2] S. Badaruddin *et al.*, "Setting koordinasi over current relay pada trafo 60 mva 150/20 kv dan penyulang 20 kv," *SINERGI*, vol. 18, no. 3, pp. 134–140, 2014.
- [3] M. A. Muzar, S. Syahrizal, dan M. Syukri, "Analisis pengaruh suhu akibat pembebanan terhadap susut umur transformator daya di gardu induk lambaro," *Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, dan Elektro*, vol. 3, no. 2, 2018.

- [4] P. Pujiono, P. E. Pambudi, dan M. Mujiman, "Analisis pembebanan terhadap usia pakai transformator tenaga di gardu induk 150 kv," *Jurnal Elektrikal*, vol. 3, no. 1, pp. 11–20, 2016.
- [5] N. Harahap dan K. Kartika, "Microcontroller-based gas detection in transformer oil," *International Journal of Engineering, Science and Information Technology*, vol. 2, no. 4, pp. 119–126, 2022.
- [6] J. Perez, "Fundamental principles of transformer thermal loading and protection," in *2010 63rd annual conference for protective relay engineers*. IEEE, 2010, pp. 1–14.
- [7] U. M. Rao, H. Pulluri, dan N. G. Kumar, "Performance analysis of transformer oil/paper insulation with ester and mixed dielectric fluids," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 25, no. 5, pp. 1853–1862, 2018.
- [8] D. Amalia dan F. Murdiya, "Analisa gas terlarut pada minyak transformator daya 150 kv dengan menggunakan metode duval pentagon," *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik*, vol. 4, no. 1, pp. 1–15, 2017.
- [9] M. Tohari, B. Sukoco, dan M. Haddin, "Analisis kondisi transformator daya 20kv/150kv dengan metode uji dissolved gas analysis (dga) di pt. pjb pltu rembang," *Prosiding Konstelasi Ilmiah Mahasiswa Unissula (KIMU) Klaster Engineering*, 2021.
- [10] A.-M. Aciu, C.-I. Nicola, M. Nicola, dan M.-C. Nițu, "Complementary analysis for dga based on duval methods and furan compounds using artificial neural networks," *Energies*, vol. 14, no. 3, p. 588, 2021.
- [11] K. Kartika dan M. Misriana, "Sistem monitoring transformator distribusi berbasis xbee pro," *JURNAL LITEK: Jurnal Listrik Telekomunikasi Elektronika*, vol. 15, no. 2, pp. 29–37, 2018.
- [12] H. D. Harsono, H. Berahim, dan S. Hani, "Studi pengaruh beban lebih terhadap kinerja relay arus lebih pada transformator daya di gardu induk pedan menggunakan etap," *Jurnal Elektrikal*, vol. 1, no. 2, pp. 44–59, 2014.
- [13] A. Goeritno, S. Rasiman, I. Nugraha, dan A. Johan, "Simulasi fenomena gangguan internal pada transformator daya untuk pengukuran kinerja relai diferensial dan buchholz," in *Prosiding Seminar Nasional Energi & Teknologi (SINERGI)*, 2018, pp. 57–72.
- [14] I. S. Subaga, I. Manuaba, dan I. Sukerayasa, "Analisis prediktif pemeliharaan minyak transformator menggunakan metode markov," *Jurnal SPEKTRUM Vol*, vol. 6, no. 4, 2019.
- [15] A. Abu-Siada dan S. Islam, "A new approach to identify power transformer criticality and asset management decision based on dissolved gas-in-oil analysis," *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, vol. 19, no. 3, pp. 1007–1012, 2012.
- [16] J. Raja, P. Ajay-D-Vimal Raj, S. Rajasekar, J. Raja, P. Ajay-D-Vimal Raj, dan S. Rajasekar, "Best practices in operation and maintenance of transformers," *Practices in Power System Management in India*, pp. 109–140, 2018.
- [17] S. A. Jawad, A. S. Abu-Surrah, M. Maghrabi, Z. Khattari, dan M. Al-Obeid, "Electrical impedance of ethylene-carbon monoxide/propylene-carbon monoxide (epcc-69) thermoplastic polyketone," *Journal of Materials Science*, vol. 46, pp. 2748–2754, 2011.
- [18] T. Arpitha, D. Kiran, V. S. Gupta, dan P. Duraiswamy, "Fpgasm based gas leakage detection system," in *2016 IEEE annual India conference (INDICON)*. IEEE, 2016, pp. 1–4.
- [19] A. Faroqi, D. K. Halim, M. S. WS, dan E. P. Hadisantoso, "Perancangan alat pendeteksi kadar polusi udara menggunakan sensor gas mq-7 dengan teknologi wireless hc-05," *Jurnal Istek*, vol. 10, no. 2, 2017.
- [20] T. Pan, Y. Zhu, T. Pan, dan Y. Zhu, "Getting started with arduino," *Designing Embedded Systems with Arduino: A Fundamental Technology for Makers*, pp. 3–16, 2018.