

SISTEM PENGUKURAN KUALITAS ISOLASI MINYAK TRAF0 DENGAN METODE PARAMETER UKUR *BREAKDOWN VOLTAGE* DAN *PARTIAL DISCHARGE* BERBASIS *INTERNET OF THINGS (IOT)*

Miznan Huda Basyaruddin*), Abdul Syakur, dan Munawar Agus Riyadi

Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

**)E-mail: miznanhuda@gmail.com*

Abstrak

Salah satu bagian berarti dalam transformator adalah isolasi cair minyak trafo yang berperan selaku pemisah antara 2 buah penghantar listrik, pendingin transformator, dan peredam busur listrik. Kasus pada transformator terjalin dampak kegagalan isolasi minyak transformator yang bisa diakibatkan oleh pengurangan kualitas isolasi minyak trafo. Dalam pengujian kualitas minyak trafo dapat diamati dengan manual sehingga menyebabkan hasil dalam pengujian terkadang tidak menentu yang diakibatkan human error, Pengganti pemecahan kasus tersebut yaitu dengan produk hasil riset penelitian sistem pengukuran kualitas isolasi minyak trafo dengan sistem otomatis. Sistem ini terdiri dari mikrokontroler Arduino Uno serta NodeMCU, pemeriksaan tegangan serta arus memakai sensor PZEM- 004T dengan aktuator berupa motor DC. Hasil pengujian dengan parameter ukur *breakdown voltage* dengan memvariasikan temperaturnya didapat kualitas minyak trafo dengan hasil saat temperatur yaitu 24°C memiliki tegangan tembus 11472 volt, pada temperatur 40°C memiliki tegangan tembus 9039 volt, pada suhu 100°C memiliki tegangan tembus yang 6260 volt, dan pada suhu 120°C memiliki tegangan tembus yang 5270 volt. Pada pengujian dengan parameter ukur *partial discharge* (PD) jumlah pulsa PD pada siklus positif dan siklus negatif cenderung semakin meningkat dengan penerapan tegangan pada waktu yang semakin lama.

Kata kunci : Minyak Trafo, Breakdown Voltage, Partial Discharge, otomatis

Abstract

The liquid insulation of the transformer oil, which serves as a separator between the two electrical conductors, the transformer cooler, and the electric arc damper, is one of the crucial components of the transformer. The breakdown of the transformer oil insulation may have been brought on by a decline in the quality of the transformer oil insulation. When evaluating the quality of transformer oil, it is possible to do it manually, which occasionally results in inconsistent test results because of human error. An automatic method can answer this situation in this final project, this system uses the PZEM-004T sensor with a DC motor actuator to assess voltage and current using Arduino Uno and NodeMCU microcontrollers. According to the test results using the breakdown voltage measurement parameter and varying the temperature, transformer oil has a breakdown voltage of 11472 volt at a temperature of 24°C, 9039 volt at a temperature of 40°C, 6260 volt at a temperature of 100°C, and 5270 volt at a temperature of 120°C. In test the partial discharge (PD) the number of PD pulses in the positive and negative cycles measuring parameter tends to rise as voltage is applied for longer periods of time.

Keywords : Transformer Oil, Breakdown Voltage, Partial Discharge, Automatic

1. Pendahuluan

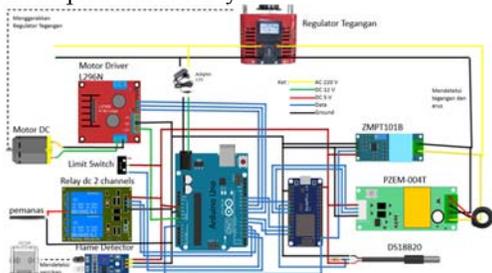
Pesatnya kemajuan teknologi serta jumlah masyarakat yang senantiasa bertambah menyebabkan mengkonsumsi tenaga listrik juga semakin meningkat. Konsumsi listrik masyarakat Indonesia pada tahun 2014 berharga 880 kWh per kapita serta selalu bertambah sampai mencapai angka 1080 kWh per kapita pada tahun 2019. Dalam penggunaan listrik tidak luput juga dengan penyaluran tenaga listrik,

salah satu permasalahan yang setidaknya selalu dialami dalam pembagian daya listrik yaitu tentang transformator, karena transformator sering bekerja dengan cara nonstop. Salah satu bagian berguna dalam transformator merupakan isolasi cair minyak transformator sebab merupakan isolator yang berperan sebagai pemisah sebagai listrik 2 buah penghantar, pendingin transformator, peredam busur listrik, dan pelarut gas yang muncul.

Gambar 2 merupakan desain rangkaian alat uji *partial discharge* menggunakan elektroda jarum dan setengah bola. Jarak antara elektroda seragam adalah 0,5mm. Elektroda ini akan diletakkan pada sebuah *chamber* tertutup yang berisi minyak trafo, untuk memperlancar pengujian maka *chamber* yang terisi minyak trafo harus penuh dan tidak boleh ada gelembung udara sehingga *chamber* ini harus vakum. Gelembung udara yang ada pada minyak akan memudahkan/mempercepat terjadinya *partial discharge*. Pengujian *partial discharge* diharuskan dibawah tegangan tembus minyak trafo yang digunakan sehingga tegangan dapat dilihat di osiloskop. Pada alat uji untuk *partial discharge* dimana menggunakan regulator tegangan dan trafo *step up* untuk mengatur tegangan masukan pada elektroda. Pada uji ini terdapat rangkaian RC *Detector* yang berfungsi untuk mendeteksi *partial discharge* pada tegangan di bawah *breakdown voltagenya* dan kemudian tegangan di osiloskop dapat membandingkan dengan tegangan pada trafo normal (tanpa RC *detector*).

2.2 Perancangan Perangkat Keras (Hardware)

Menggunakan modul arduino uno sebagai mikrokontroler sekaligus sebagai penyambung ke modul NodeMCU ESP8266. Data yang diperoleh dari modul ini adalah tegangan yang dihasilkan oleh variac saat terjadi *breakdown voltage* di minyak trafo dan arus saat terjadi *breakdown voltage* serta dapat memonitor tegangan beserta arus secara online. Arduino uno akan memerintah motor untuk memutar variac kemudian sensor *flame detector* akan melihat percikan listrik kemudian sensor tegangan ZMPT101B akan membaca tegangan di output variac sampai dengan tegangan 80 V jika lebih dari 80 V maka pembacaan akan dilanjutkan sensor PZEM-004T saat terjadi *breakdown voltage*, *flame detector* akan akan memberikan sinyal pada arduino sehingga motor dapat berhenti kemudian hasil tegangan dan arus akan dimasukkan dan dikirim ke modul NodeMCU dan akan dikirim ke platform IoT Blynk.

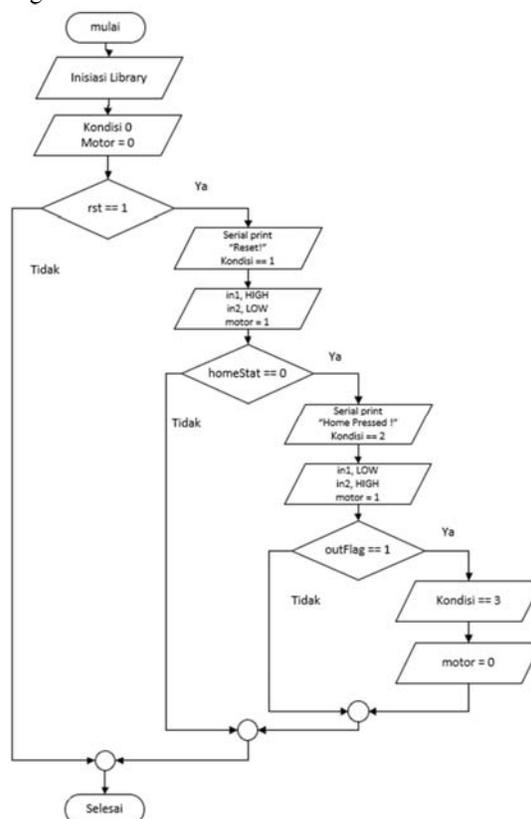


Gambar 3. Blok diagram sistem keseluruhan

Gambar 3 merupakan desain elektrik atau wiring diagram untuk modul otomatis yang dapat dilakukan dengan mengendalikannya jarak jauh.

2.3 Perancangan Perangkat Lunak (Software)

Arduino uno ini mengatur pin ENA, in1, dan in2 yang ada di driver motor dan dalam pengendalian motor dipanggil fungsi *millis* dimana fungsi ini berguna untuk mencatat waktu sehingga dapat digunakan untuk menjalankan motor dengan waktu yang ditentukan. Pada program pengendalian motor dibagi menjadi 4 kondisi dan dilakukan dalam fungsi *loop*. Kondisi 0 merupakan kondisi paling awal saat arduino dinyalakan di mana kondisi ini tidak melakukan apa-apa. Kondisi 1 terjadi saat tombol reset pada aplikasi Blynk yang disambungkan ke NodeMCU di tekan dalam program tombol reset diberi nama *rstStat*, kondisi ini dimana in1 bernilai *HIGH* dan in2 bernilai *LOW* dengan ENA 180 yang mana ENA adalah kecepatan motornya dan nilai motor adalah 1 yang mana motor akan berputar. Kondisi 2 terjadi saat limit switch tertekan dimana limit switch di program sebagai merupakan *homestat*, saat tertekan in1 akan bernilai *LOW* dan in2 akan bernilai *HIGH* dengan ENA 180 yang mana nilai in1 dan in2 terbalik dengan kondisi 1 sehingga akan berputar ke arah sebaliknya motor pada kondisi ini bernilai 1 yang mana motor bergerak. Kondisi 3 terjadi saat sensor percikan mendapatkan sinyal percikan dari terjadinya *breakdown voltage* dimana sinyal percikan dari program dinamakan *sigInstat* pada kondisi ini motor akan bernilai 0 yang mana motor akan berhenti.



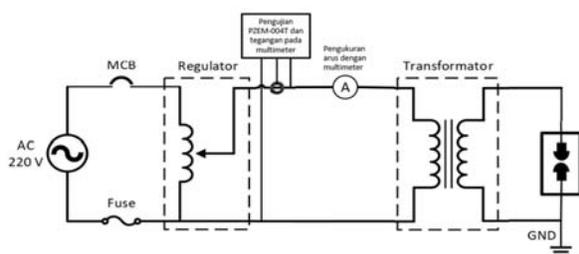
Gambar 4. Diagram alir program alat uji otomatis

Pada Gambar 4 merupakan diagram alir program alat uji dengan pengendalian motor yang dilakukan menggunakan driver motor L298N.

3 Hasil dan Pembahasan

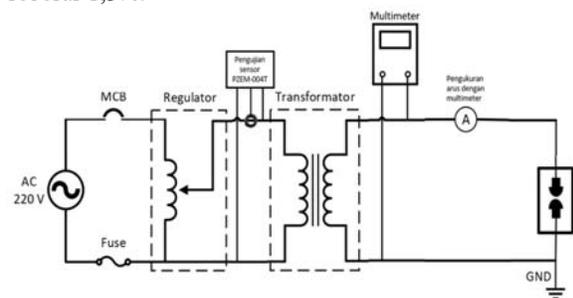
3.1 Pengujian Sensor

Pengujian sensor bertujuan untuk membaca nilai kesalahan ukur yang didapatkan dari hasil pengukuran sensor yang dibandingkan dengan hasil pengukuran alat ukur digital. Pengujian sensor yang dilakukan menggunakan sensor PZEM-004T dengan memvariasikan tegangan dan juga membandingkan pada tempat yang sama dan tempat yang berbeda dikarenakan sensor PZEM-004T hanya mampu mendeteksi tegangan 80 V - 260 V sedangkan setelah dinaikkan di trafo tegangan dapat mencapai 15 KV.



Gambar 5. Pengujian sensor di tempat yang sama

Pada Gambar 5 merupakan pengujian sensor pada tempat yang sama, data hasil pengujian perbandingan nilai tegangan yang dibaca sensor dengan alat ukur digital yaitu multimeter. Pada data hasil pengujian perbandingan tegangan memiliki error rata-rata sebesar 0,8%. data hasil pengujian perbandingan nilai tegangan yang dibaca sensor dengan alat ukur digital yaitu multimeter. Pada data hasil pengujian perbandingan arus memiliki error rata-rata sebesar 1,3%.



Gambar 6. Pengujian sensor di tempat yang berbeda

Pada Gambar 6 merupakan Pengujian pembacaan didapat bahwa pembacaan sensor PZEM-004T yang berada di keluaran regulator memiliki perbandingan 1:36 dengan pembacaan di alat ukur digital yang berada di keluaran trafo sehingga pada program pembacaan dari sensor dikalikan dengan 36 sedangkan pada arus kebalikannya

yaitu dibagi dengan 36. data hasil pengujian perbandingan nilai tegangan yang dibaca pada keluaran regulator dengan alat ukur digital yaitu multimeter yang ada pada keluaran trafo dimana output regulator dibaca dari sensor dan di monitor secara online. Pada data hasil pengujian perbandingan tegangan memiliki error rata-rata sebesar 2,4%. data hasil pengujian perbandingan nilai arus yang dibaca pada keluaran regulator dengan alat ukur digital yaitu multimeter yang ada pada keluaran trafo dimana output regulator dibaca dari sensor dan di monitor secara online. Pada data hasil pengujian perbandingan tegangan memiliki error rata-rata sebesar 1,04%.

3.2 Pengujian Breakdown Voltage

Pengujian karakteristik minyak trafo dengan metode *breakdown voltage* yaitu dengan menggunakan variasi suhu. Sensor akan membaca tegangan dalam suhu yang ada di minyak yang digunakan untuk pengujian. Minyak dipanaskan di luar dari pengujian dikarenakan pada saat pengujian apabila terdapat pemanas elemen pemanas akan menjadi hal yang akan mempengaruhi pengujian.

Pengujian *breakdown voltage* dilakukan dengan menggunakan alat uji otomatis dimana kondisi 0 saat alat uji otomatis di nyalakan lalu masuk ke kondisi 1 saat tombol reset pada platform blynk ditekan sehingga motor akan berputar untuk menggerakkan regulator ke angka 0 saat di angka 0 diberi sensor yaitu *limit switch* saat sensor ini mendeteksi maka akan berubah ke kondisi 2 yaitu untuk menaikkan tegangan sampai terjadi *breakdown*, jika terjadi *breakdown* (menimbulkan percikan) maka sensor api akan mendeteksi dan akan menghentikan motor dan mengirim data ke platform blynk.

Tabel 2 Pengujian *breakdown voltage* dengan variasi temperatur

NO	Temperatur (°C)	Tegangan <i>breakdown</i> voltage pada multimeter (V)	Tegangan <i>breakdown</i> voltage pada monitoring (V)	Selisih (V)	Error (%)
1	24	10896	11472	576	5,0
2	30	9023	9529,2	506,2	5,3
3	40	8529	9039,6	510,6	5,6
4	50	7873	8218	345	4,2
5	60	7437	7711,2	274,2	3,6
6	70	7131	7365,6	234,6	3,2
7	90	6648	6811,2	163,2	2,4
8	100	6140	6260,4	120,4	1,9
9	110	5832	5911,2	79,2	1,3
10	120	5219	5270,4	51,4	1,0
<i>Error rata-rata</i>					3,4

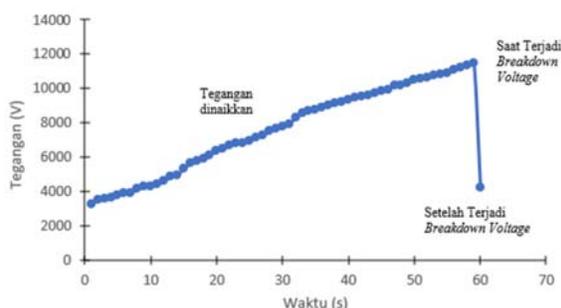
Pada Tabel 2 merupakan data hasil pengujian *breakdown voltage* yang dibaca di keluaran transformator menggunakan sensor dan alat ukur digital multimeter

dengan error rata-rata 3,4%. Hasil dari *breakdown voltage* dapat dimasukkan ke standar kualitas minyak trafo pada Tabel 1 dikarenakan dalam standar tidak terdapat pengujian yang menggunakan trafo 15 KV maka dilakukan perbandingan sehingga yang mana jika pengujian pada trafo 70 KV dilakukan dengan jarak 2,5 mm maka pada pengujian pada 15 kV dilakukan dengan jarak 0,5 mm sehingga kualitas minyak dapat dikatakan bagus jika tegangan *breakdown* terjadi pada tegangan >8000 V dan cukup pada tegangan 6000 V - 8000 V dan buruk pada tegangan <6000 V.

Hasil pengujian *breakdown voltage* terhadap temperatur dapat diketahui bahwa semakin tinggi temperatur maka semakin cepat terjadinya *breakdown voltage* dan kualitas minyaknya juga akan semakin memburuk. Hasil dari pengujian didapat jika suhu minyak semakin meningkat maka tegangan *breakdown* akan lebih cepat terjadi dikarenakan saat memanaskan minyak trafo kandungan air yang ada di udara akan bercampur ke minyak uji yang menyebabkan minyak terkontaminasi dan tegangan *breakdown* lebih cepat terjadi saat suhu naik.

3.2.1 Pada Temperatur Ruang 24°C

Pada pengujian *breakdown voltage* dengan temperatur ruangan yaitu pada 24°C didapat tegangan 11 KV dengan hasil tersebut maka kualitas minyak pada temperatur ruangan memiliki kekuatan yang bagus untuk mengisolasi antara dua penghantar listrik yang ada pada trafo sehingga dapat bekerja maksimal dan tidak merusak trafo dan juga alat – alat elektronik yang tersambung pada trafo



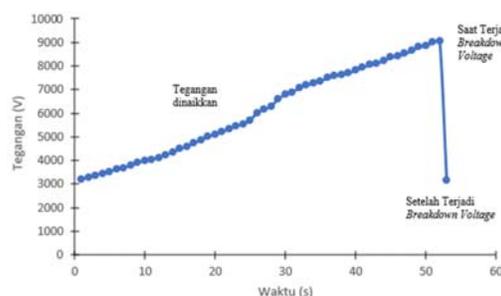
Gambar 7. Pengujian *breakdown voltage* dengan suhu ruangan 24 °C

Pada Gambar 7 Pengujian *breakdown voltage* dengan temperatur ruangan 24 °C dilakukan dengan menaikkan tegangan secara otomatis dengan memutar regulator menggunakan motor, motor bergerak selama 60 detik dengan memonitor tegangan setiap 1 detik. Saat terjadi *breakdown*, tegangan akan langsung turun dikarenakan arus naik sesuai dengan teori jika arus semakin besar maka tegangan akan semakin kecil begitu juga sebaliknya. Juga saat terjadi *breakdown*, tegangan akan langsung turun dikarenakan bahan isolasi sudah menjadi konduktor dan

menyebabkan arus akan mengalir ke elektroda *ground*, saat arus mengalir maka arus akan semakin besar dan menyebabkan tegangan jatuh.

3.2.2 Pada Temperatur 40°C

Pada pengujian *breakdown voltage* dengan temperatur 40°C didapat tegangan 9 KV dengan hasil tersebut maka kualitas minyak pada temperatur 40°C memiliki kekuatan yang bagus untuk mengisolasi antara dua penghantar listrik yang ada pada trafo sehingga dapat bekerja maksimal dan tidak merusak trafo dan juga alat – alat elektronik yang tersambung pada trafo.

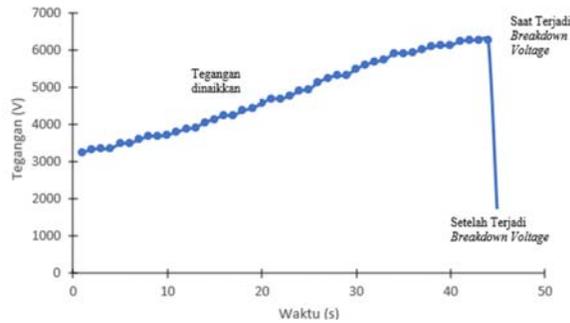


Gambar 8. Pengujian *breakdown voltage* dengan temperatur 40°C

Pada Gambar 8 Pengujian *breakdown voltage* dengan temperatur 40°C dilakukan dengan menaikkan tegangan secara otomatis dengan memutar regulator menggunakan motor, motor bergerak selama 53 detik dengan memonitor tegangan setiap 1 detik. Saat terjadi *breakdown*, tegangan akan langsung turun dikarenakan arus naik sesuai dengan teori jika arus semakin besar maka tegangan akan semakin kecil begitu juga sebaliknya. Juga saat terjadi *breakdown*, tegangan akan langsung turun dikarenakan bahan isolasi sudah menjadi konduktor dan menyebabkan arus akan mengalir ke elektroda *ground*, saat arus mengalir maka arus akan semakin besar dan menyebabkan tegangan jatuh.

3.2.3 Pada Temperatur 100°C

Pada pengujian *breakdown voltage* dengan temperatur 100°C didapat tegangan 6 kV dengan hasil tersebut maka kualitas minyak pada temperatur 100°C memiliki kekuatan yang cukup untuk mengisolasi antara dua penghantar listrik yang ada pada trafo sehingga harus sering dilakukan pemeliharaan agar tidak merusak trafo dan juga alat – alat elektronik yang tersambung pada trafo.

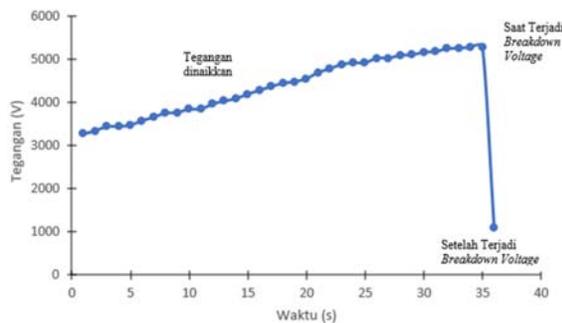


Gambar 9. Pengujian *breakdown voltage* dengan temperatur 100°C

Pada Gambar 9 Pengujian *breakdown voltage* dengan temperatur 100°C dilakukan dengan menaikkan tegangan secara otomatis dengan memutar regulator menggunakan motor, motor bergerak selama 45 detik dengan memonitor tegangan setiap 1 detik. Saat terjadi *breakdown*, tegangan akan langsung turun dikarenakan arus naik sesuai dengan teori jika arus semakin besar maka tegangan akan semakin kecil begitu juga sebaliknya. Juga saat terjadi *breakdown*, tegangan akan langsung turun dikarenakan bahan isolasi sudah menjadi konduktor dan menyebabkan arus akan mengalir ke elektroda *ground*, saat arus mengalir maka arus akan semakin besar dan menyebabkan tegangan jatuh.

3.2.4 Pada Temperatur 120°C

Pada pengujian *breakdown voltage* dengan temperatur 120°C didapat tegangan 5 kV dengan hasil tersebut maka kualitas minyak pada temperatur 120°C memiliki kekuatan yang buruk untuk mengisolasi antara dua penghantar listrik yang ada pada trafo sehingga minyak trafo diharuskan untuk diganti agar tidak merusak trafo dan juga alat – alat elektronik yang tersambung pada trafo



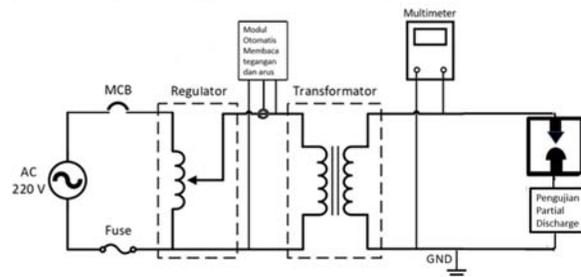
Gambar 10. Pengujian *breakdown voltage* dengan temperatur 120°C

Pada Gambar 10 Pengujian *breakdown voltage* dengan temperatur 120°C dilakukan dengan menaikkan tegangan secara otomatis dengan memutar regulator menggunakan motor, motor bergerak selama 36 detik dengan memonitor tegangan setiap 1 detik. Saat terjadi *breakdown*, tegangan akan langsung turun dikarenakan arus naik sesuai dengan

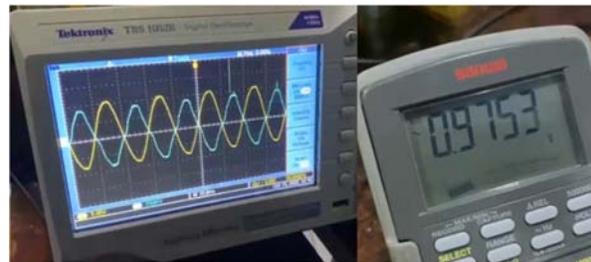
teori jika arus semakin besar maka tegangan akan semakin kecil begitu juga sebaliknya. Juga saat terjadi *breakdown*, tegangan akan langsung turun dikarenakan bahan isolasi sudah menjadi konduktor dan menyebabkan arus akan mengalir ke elektroda *ground*, saat arus mengalir maka arus akan semakin besar dan menyebabkan tegangan jatuh.

3.2 Pengujian *Breakdown Voltage*

Pengujian *partial discharge* sendiri dilakukan dengan tegangan yang tetap dan tegangan tersebut berada di bawah tegangan *breakdown*nya. Pengujian dilakukan dengan menggunakan osiloskop dengan membandingkan keluaran tegangan di elektroda yang tersambung ke *ground* yang mana sebelum masuk ke osiloskop diberi rangkaian RC *detector* sebagai pembaca *partial discharge* dengan membandingkan keluaran trafo yang memiliki bentuk gelombang sinusoidal dan diantara elektroda tegangan tinggi dan elektroda *ground* berupa void. Pengujian *partial discharge* menggunakan elektroda jarum – setengah bola dikarenakan dengan bentuk elektroda yang luas penampangnya mengecil memudahkan terlihatnya bentuk gelombang PD. Dapat dilihat skema pada Gambar 11.

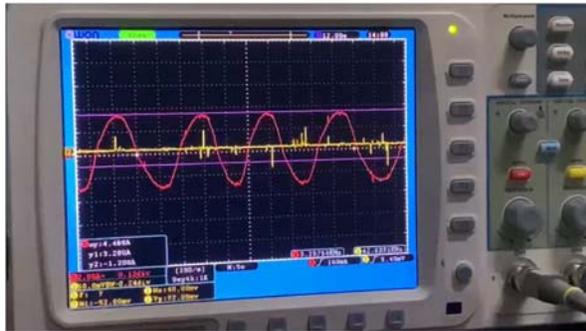


Gambar 11. Skema Pengujian *Partial Discharge*



Gambar 12. Pengujian pada osiloskop tanpa RC *Detector*

Pada Gambar 12 merupakan bentuk gelombang yang belum menggunakan RC *detector* yang mana keluaran dari trafo yang tersambung ke tempat pengujian dalam osiloskop yaitu pada gelombang berwarna biru yang memiliki nilai tegangan 9753 V, sedangkan keluaran trafo yang digunakan sebagai pembanding yaitu gelombang berwarna kuning. Keduanya memiliki bentuk yang sama yaitu berbentuk gelombang sinusoidal.



Gambar 13. Pengujian *Partial Discharge* dengan RC detector pada tegangan 4000 V

Pada Gambar 13 merupakan pengujian menggunakan RC detector yang mana keluaran dari trafo yang tersambung ke tempat pengujian, dalam osiloskop yaitu pada gelombang berwarna kuning dan dilakukan saat nilai tegangan 4 KV, sedangkan keluaran trafo yang digunakan sebagai pembanding yaitu gelombang berwarna merah. Keduanya memiliki bentuk yang berbeda yang mana gelombang merah berbentuk gelombang sinusoidal sedangkan pada gelombang kuning (RC detector) terdapat gelombang datar dan sesekali mengeluarkan gelombang impuls/Pulsa dikarenakan *partial discharge* yang terjadi pada modul uji minyak trafo.

Untuk melihat gelombang *partial discharge* osiloskop diatur pada 50 mV/div dengan waktu 10 S/s. Pulsa PD pada void dapat muncul pada peluahan siklus positif maupun siklus negatif, masing – masing siklus menunjukkan jumlah pulsa yang berbeda. Jumlah pulsa PD pada kedua siklus cenderung semakin meningkat dengan penerapan tegangan pada waktu yang semakin lama. Fenomena peningkatan jumlah pulsa PD dari waktu ke waktu dapat dijelaskan bahwa ionisasi elektron terjadi ketika medan listrik diterapkan. Elektron terionisasi dan memiliki energi kinetik yang cukup untuk terionisasi ketika mereka bertabrakan dengan atom netral dalam atom gas. Ionisasi ini menciptakan elektron baru dan ion positif yang memulai proses serupa untuk mendapatkan dua elektron dan menciptakan ion positif baru[5]. Jika proses ini berlangsung lama, elektron akan terus bertambah, membuat PD lebih mungkin terjadi.

4. Kesimpulan

1. Perancangan sistem otomatis dan akuisisi data sistem pengukuran kualitas isolasi minyak trafo telah berhasil direalisasikan, dengan data pengiriman ke platform Blynk begitu juga dengan pengendaliannya.
2. Perancangan sistem pengukuran kualitas isolasi minyak trafo secara keseluruhan menggunakan mikrokontroler Arduino uno dan NodeMcu. Sensor yang digunakan adalah sensor PZEM-004T untuk

memonitor tegangan dan arus dan sensor DS18B20 untuk memonitor suhu serta sensor api dan limit switch untuk menggerakkan/memberhentikan aktuator. Aktuator yang digunakan berupa motor dc yang diatur dengan driver motor L298N, serta relai.

3. Pada pengujian sistem secara keseluruhan, sistem berhasil memonitor keadaan minyak trafo sesuai dengan keadaan nyatanya. Pengukuran data dari setiap parameter didalam minyak trafo ditampilkan pada aplikasi Blynk untuk memonitor keadaan minyak trafo. Sistem dapat bekerja secara otomatis dan sistem dapat dipantau dari jarak jauh melalui aplikasi Blynk sehingga pengendalian dan pemantauan sistem ini dapat mempermudah penggunaannya.
4. Pada pengujian dengan menggunakan metode breakdown voltage didapat kualitas minyak trafo dengan hasil saat suhu 24-50 memiliki kualitas tegangan tembus yang bagus, pada suhu 70-100 memiliki kualitas tegangan tembus yang cukup, dan pada suhu 110-120 memiliki kualitas tegangan tembus yang buruk. Pada pengujian sistem otomatis dengan metode *partial discharge* dilakukan dengan tegangan yang tidak boleh lebih atau sama dari tegangan tembusnya dan digunakan osiloskop untuk melihat bentuk gelombangnya. Jumlah pulsa PD pada siklus positif dan siklus negatif cenderung semakin meningkat dengan tegangan yang sama pada penerapan waktu yang semakin lama.

Referensi

- [1] I. N. O. Winanta, A. A. N. Amrita, and W. G. Ariastina, "Studi Tegangan Tembus Minyak Transformator," SPEKTRUM, vol. 6, no. 3, pp. 10–18, Sep. 2019.
- [2] D. Martoni, I. Yuningtyastuti, and A. M. S. T. Syukur, "Analisis Karakteristik Peluahan Sebagian Pada Model Void Berdasarkan Fungsi Waktu Dan Tegangan Dalam Polyvinyl Chloride (PVC)," Tugas Akhir, Universitas Diponegoro, Semarang, 2008.
- [3] W. Kunto Wibowo, I. Yuningtyastuti, and A. Syukur, "Analisis Karakteristik Breakdown Voltage Pada Dielektrik Minyak Shell Diala B Pada Suhu 30 °C - 130 °C."
- [4] International Standard, "Standard IEC 60422," 2002.
- [5] A. Syukur, Teori dan Hasil Eksperimen PARTIAL DISCHARGE pada Bahan Isolasi. Semarang: Universitas Diponegoro, 2009.