

Perancangan Alat Monitoring Arus Bocor pada Kabel 20 kV Menggunakan Filter Kalman Berbasis *Internet of Things*

Adi Franata H Sitanggang¹⁾, dan Yuliyanto Agung Prabowo²⁾

^{1,2)} Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

^{1,2)} Jl. Arief Rahman Hakim No. 100, Klampis Ngasem, Kec. Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur 60117

e-mail: franataadi1991@gmail.com¹⁾, agungp@itats.ac.id²⁾

ABSTRACT

One of the problems that often occurs in the use of ground cables is insulation failure. This condition can cause leakage current in the 20 kV cable on the secondary side of the transformer. The greater the value of the leakage current, the more heat will cause the insulation to worsen. If this condition is not handled immediately, it can lead to the opportunity for a short-circuit current between the phase and ground. Therefore, an Internet of Thing-based monitoring tool is needed that can determine the amount of leakage current contained in the 20 kV cable on the secondary side of the transformer by applying the Kalman filter method and sending it to the substation operator using Wifi. Based on the test, it was found that the implementation of this monitoring tool obtained more constant measurement results than the actual measurement value using a measuring instrument with an average error per phase, 1.5594% phase R, 1.5535% phase S, 1.5548% phase T.

Keywords: Leakage Current, Kalman Filter, IoT, Isolation

ABSTRAK

Permasalahan yang sering terjadi dalam pemakaian kabel tanah salah satunya kegagalan isolasi. Kondisi ini dapat mengakibatkan timbulnya arus bocor pada kabel 20kV pada sisi sekunder Trafo. Nilai arus bocor yang semakin besar akan menimbulkan panas yang dapat menjadi pemicu semakin memburuk isolasi. Jika kondisi ini tidak segera ditangani dapat menyebabkan peluang terjadinya arus hubung singkat antara phase dengan *ground*. Oleh karena itu, diperlukan alat monitoring berbasis *Internet of Things* yang dapat mengetahui besar arus bocor yang terdapat pada kabel 20 kV sisi sekunder trafo dengan menerapkan metode filter Kalman dan mengirimkannya ke operator Gardu Induk menggunakan Wifi. Berdasarkan pengujian diperoleh bahwa implementasi alat monitoring ini diperoleh hasil pengukuran yang lebih konstan dari nilai pengukuran sebenarnya menggunakan alat ukur dengan rata – rata error per phase, 1.5594 % phase R, 1.5535 % phase S, 1.5548 % phase T.

Kata Kunci: Arus Bocor, Filter Kalman, IoT, Isolasi

I. PENDAHULUAN

Dalam setiap program kerja PT. PLN (Persero) Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali, keandalan sistem dan penyaluran adalah salah satu hal yang sangat penting. Penyaluran daya listrik harus berlangsung secara terus menerus. PLN selalu berusaha melakukan perbaikan dalam pelayanan kepada pelanggan.

Pada kontrak kinerja PT PLN (Persero), diharuskan agar setiap unit kerja selalu memenuhi KPI TROD (*Transformer Outage Duration*), TROF (*Transformer Outage Frequency*), dan ENS (*Energy Not Serve*) dimana dinyatakan memiliki total nilai keseluruhannya 24 dari maksimal nilai kinerja 100. Apabila kinerja transformator tidak terpenuhi maka yang jelas kinerja tidak akan tercapai. Berdasarkan target untuk TROD dari nilai 0,19 menjadi 0,12, untuk TROF diangka 0,05 dan ditambah kinerja baru yaitu akan menghitung berapa energy yang tidak tersalurkan. Untuk memenuhi target tersebut diatas maka PT. PLN (Persero) Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali perlu mengetahui secara dini terkait potensi-potensi kerusakan yang mungkin akan timbul pada trafo termasuk kabel 20 kV dengan menerapkan standart

pemeliharaan. Bila kita perkecil lagi pada lingkup Gardu Induk (GI) diharapkan untuk dapat dioperasikan dengan handal. Namun pada kenyataan selama dioperasikan GI tidak luput dari gangguan-gangguan yang dapat terjadi kapan saja dilapangan. Salah satu yang menjadi gangguan dan sering terjadi antara lain bocornya arus pada kabel screen [1]. Secara fungsi hingga saat ini kabel screen yang ada di Gardu Induk diperuntukkan sebagai pengaman kabel tanah disisi sekunder transformator Jaringan Tegangan Menengah (JTM) 20 kV.

Beberapa jenis JTM antara lain Saluran Udara Tegangan Menengah (SUTM), Saluran Kabel Udara Tegangan Menengah (SKUTM), & Saluran Kabel Tanah Tegangan Menengah (SKTM). Pada penelitian ini jenis kabel tanah yg diuji merupakan jenis SKTM. Jarak kabel tidak begitu panjang, sebagai akibatnya arus bocor dalam kabel seharusnya sangat kecil. Dikarenakan kurangnya monitoring mendasar dari pihak PLN maka jika terjadi arus bocor dalam kabel screen secara dini pihak PLN tidak mengetahuinya, padahal pada kenyataannya jika arus bocor tadi terjadi secara kontinue maka akan mengganggu kabel tanah yg terdapat didalamnya[2]. Perbaikan kabel tanah yang

telah rusak baru akan diganti oleh pihak PLN setelah investigasi dan troubleshooting.

Pada tahun 2018 tercatat 3 kali gangguan dikarenakan breakdown kable 20 kV di lokasi yang sama. Hal ini tentunya sangat merugikan banyak pihak, baik PLN maupun konsumen. Salah satu kendala yang sering timbul pada pemakaian kabel tanah tersebut adalah kegagalan isolasi dalam menjalankan fungsinya sebagai media isolasi tegangan menengah 20 kV. Penyebab kegagalan isolasi tersebut dapat diakibatkan oleh usia kabel, kesalahan saat pabrikasi, kesalahan saat *jointing*, dll. Buruknya isolasi akan mengakibatkan adanya arus yang mengalir ke tanah atau sering disebut arus bocor[3].

Arus bocor adalah besarnya nilai arus yang melalui kabel screen menuju tanah. Arus bocor hanya dapat diketahui jika melakukan pengukuran menggunakan alat ukur. Kurangnya monitoring terhadap arus bocor akan sangat berbahaya bagi peralatan-peralatan Gardu Induk yang lainnya seperti kerusakan kabel, system penyaluran off, dan kerusakan trafo. Saat ini belum ada alat monitoring khusus terhadap kabel 20 kV pada trafo di wilayah PT PLN Unit Induk Transmisi Jawa Bagian Timur dan Bali.

Untuk menghindari situasi ini, PLN biasanya melakukan kontrol preventif, tetapi pendekatan ini juga memiliki banyak kelemahan. Karena jika PLN tidak segera menangani arus bocor pada kabel berpelindung ini, maka arus bocor pada pelindung secara bertahap akan meningkat. Kabel yang tidak teridentifikasi pada waktunya berakibat fatal karena akan mengganggu isolasi kabel dan kabel grounding, saat terjadi korsleting. Jika kabel ground rusak sebaiknya segera diganti, karena kabel ground relatif tidak mahal.

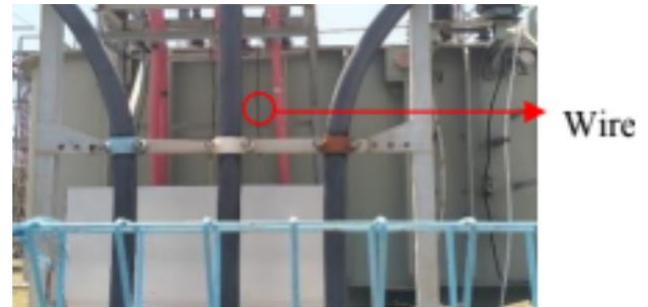
Kawat penghantar *grounding* relatif mahal, sehingga PT PLN lebih memilih untuk mengganti kabel *shielded* dengan *grounding* dengan pertimbangan operasional. Kawat penghantar *shielded* dalam jumlah besar karena harganya jauh lebih murah. Oleh sebab itu perlu dirancang sebuah system yang dapat mempermudah operator GI untuk memonitoring nilai arus bocor yang ada pada kabel 20kV tersebut yang nantinya dapat dipantau secara online melalui *smartphone* [4]. Alat ini akan dirancang menggunakan sensor arus SCT 013 dimana sensor tersebut dapat membaca nilai arus dari 0-100 A menggunakan Mikrokontroler Arduino Uno [5]–[7]. Agar supaya dapat mengurangi *noise* pengukuran disebabkan oleh interferensi medan induksi, maka diterapkanlah sebuah algoritma filter Kalman [7][8]. Data yang telah selesai diproses tersebut akan dikirim dengan menggunakan Wifi ke perangkat *smartphone* menggunakan perangkat ESP8266 [4] [10].

II. TEORI

A. KONDUKTOR XLPE

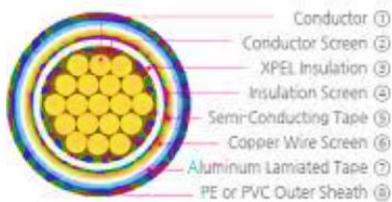
Kawat penghantar adalah salah satu alat untuk mengalirkan arus. Kawat penghantar yang digunakan

yaitu tembaga atau aluminium, untuk menentukan jenis penghantar tersebut dengan mempertimbangkan beberapa hal yaitu kemampuan arus dan harga. Jenis konduktor yang sering digunakan pada sisi sekunder trafo 150/20kV adalah XLPE yang dipasang melalui saluran bawah tanah menuju ruang kubikel.



Gambar 1. Kabel XLPE 20kV

Struktur kabel XLPE sendiri terdiri dari beberapa bagian diantaranya *Anti-Corrosion Sheath* (PVC), *Metallic Sheath* (*Copper Tape Sreen*), *Semi Conductor Insulation Screen*, *XLPE Insulation*, *Conductor Screen* dan *Conductor* [1]. *Anti-Corrosion Sheath* merupakan lapisan terluar kabel yang berfungsi untuk melindungi penghantar dari kerusakan mekanik. *Metallic Sheath* merupakan lapisan tembaga yang berbentuk pita yang dililitkan sepanjang penghantar. Fungsi utama dari lapisan ini adalah untuk meniadakan medan listrik luar kabel bertindak sebagai elektroda kedua dari kapasitor dibentuk oleh kabel. Lapisan ini perlu terhubung ke bumi setidaknya disatu titik di sepanjang kabel. Arus pengisian kapasitif yang tersalur akibat bekerja di luar kondisi normal operasi akan habis ditanahkan. *Semi-Conductor Insulation Screen* merupakan lapisan bahan semi konduktor. Memiliki ketebalan rata-rata 1 mm. Lapisan ini memiliki fungsi menyediakan transisi mulus dari isolasi medium ke lapisan *grounded metallic*. *XLPE Insulation* mempunyai fungsi mengisolasi konduktor pada tegangan dari luar lapisan. Isolasi harus memiliki ketebalan yang cukup tahan medan listrik. Karena struktur bahan dari XLPE memungkinkan kabel aman pada suhu yang lebih tinggi dari bahan termoplastik seperti PVC, sehingga dapat membawa arus yang besar. *Conductor Screen* berbentuk lapisan hitam berbahan semi konduktor dengan ketebalan kurang dari 1.0 mm yang berhubungan langsung dengan konduktor. Karena permukaan konduktor tidak rata, lapisan ini memberikan kelancaran permukaan pada potensi yang sama dengan konduktor untuk menahan listrik agar konsisten sepanjang penyaluran pada kabel. Tanpa lapisan ini, maka nada rongga atau celah di permukaan konduktor yang bisa membuat busur kecil, dan Seiring waktu bisa mengikis insulasi lapisan dan menyebabkan kegagalan kabel [3]. Selanjutnya conductor sebagai penghantar arus listrik (*current carrying conductor*). Adapun susunan secara detail dari penghantar ini diunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Struktur Kabel XLPE 20kV

B. Sensor Arus SCT 013

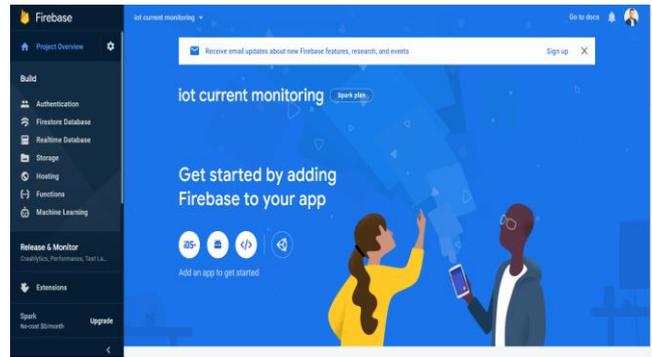
Current Transformer atau dikenal juga dengan trafo arus, merupakan sensor non invansive yang dirancang sedemikian rupa untuk mendeteksi arus yang mengalir melalui kabel. Saat arus yang mengalir pada kumparan primer menghasilkan medan magnet dalam inti akan menginduksi arus yang ada pada kumparan sekunder. Perbandingan arus antara primer dan sekunder adalah sama. SCT 013 ini tidak dapat berdiri sendiri, dibutuhkan rangkaian burden resistor yang berfungsi untuk menghasilkan tegangan yang dapat dibaca oleh ADC pada Arduino [3]. Transformator arus (CTs) merupakan sensor yang digunakan dalam pengukuran arus bolak-balik (AC). Komponen tersebut sangat berguna untuk mengukur konsumsi atau pembangkitan listrik seluruh gedung. Adapun sensor tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Sensor SCT 013

C. Firebase

Firestore adalah BaaS (Backend as a Service) dimana pada saat ini Google sebagai pemiliknya. Google menawarkan Firestore ini sebagai solusi *Mobile Apps Developer* dalam meningkatkan kemudahan pekerjaan. Menggunakan aplikasi *Firestore* ini, memungkinkan *user* untuk dapat menghasilkan sebuah aplikasi dimana *user* tanpa mengalami banyak kesulitan besar terkait *backend* [4].



Gambar 4. FireBase

D. Filter Kalman

Sebuah makalah yang dipublikasikan oleh Kalman pada tahun 1960 menjelaskan tentang suatu persoalan penyaringan linier data diskrit. Sejak itu topik tentang Kalman Filter menjadi objek penelitian dan terapan yang luas, terutama dibidang navigasi otomatis atau terpadu. Kalman filter mampu memprediksi keadaan suatu proses dengan meminimalisir kesalahan pada kuadrat rata-rata pada keadaan sebelumnya [9].

Kalman filter mampu memperkirakan suatu proses dengan mekanisme control umpan – balik, pertama Kalman mengestimasi keadaan dari suatu proses kemudian mendapat umpan balik berupa hasil pengukuran yang bercampur noise (gangguan) [8]. Ada dua bagian kelompok persamaan Kalman filter, yaitu persamaan perubahan waktu dan persamaan perubahan pengukuran dimana persamaan perubahan waktu adalah untuk mendapatkan memperoleh nilai pra-perkiraan untuk waktu langkah selanjutnya sebagaimana pada persamaan (1) dan (2).

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1} + Bu_{k-1} \quad (1)$$

$$\hat{P}_k^- = A\hat{P}_{k-1} + Q \quad (2)$$

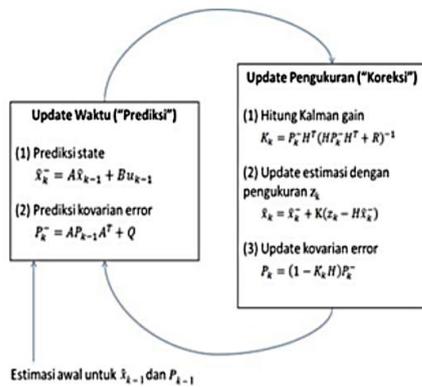
Kemudian untuk persamaan perubahan pengukuran bertujuan untuk umpan balik. Langkah pertama adalah menentukan Kalman Gain (K_k), nilai proses sebenarnya (\hat{x}_k) untuk menghitung pasca perkiraan keadaan dan terakhir adalah menghitung eror kovarian pasca perkiraan P_k sebagaimana persamaan (3), (4) dan (5).

$$K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1} \quad (3)$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K(z_k - H\hat{x}_k^-) \quad (4)$$

$$P_k = (1 - K_k)P_k^- \quad (5)$$

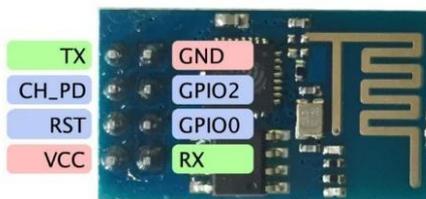
Adapun proses perhitungan dari Kalman Filter dapat ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Proses Filter Kalman

E. ESP 8266

ESP8266 adalah wifi SOC (*system on a chip*) yang diproduksi oleh *Espressif Systems*. Ini adalah chip yang sangat terintegrasi yang dirancang untuk menyediakan konektivitas internet penuh dalam paket kecil. ESP8266 memiliki pemasok yang berbeda dan papan koneksi yang berbeda. Kebanyakan papan sirkuit berbeda dalam jumlah pin yang tersedia, ukuran memori flash yang digunakan untuk menyimpan program dan data, dan perlindungan SOC dari papan sirkuit bersertifikat. Beberapa papan sirkuit juga mendukung koneksi antena uFL eksternal dan antena terintegrasi. ESP8266 dapat digunakan sebagai modul Wi-Fi eksternal dengan firmware set perintah AT standar, menghubungkannya ke mikrokontroler melalui UART serial, atau langsung berfungsi sebagai mikrokontroler berkemampuan Wi-Fi dengan menambahkan *firmware* SDK baru [4].

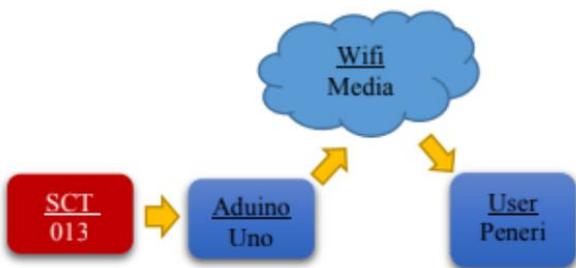


Gambar 6. Board ESP 8266 -01

III. METODE PENELITIAN

A. Blok Diagram Proses

Untuk mempermudah memahami gambaran kerja sistem secara umum dapat dilihat dari diagram proses pada Gambar 7.



Gambar 7. Blok Diagram Sistem

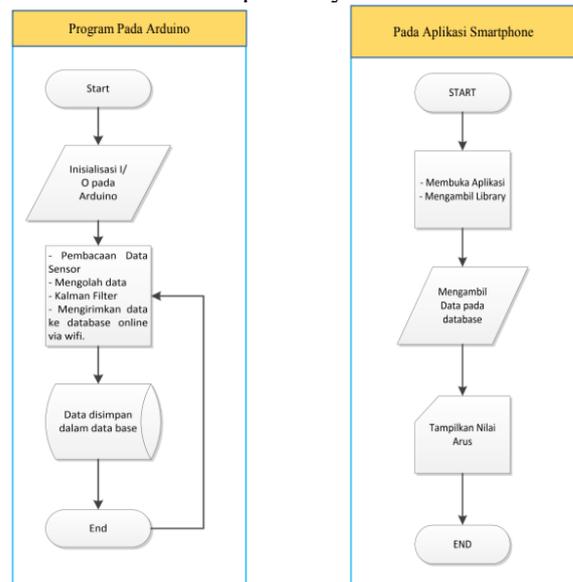
SCT 013 sebagai sensor akan memberikan input data

ke Arduino yang mana data tersebut akan di proses sesuai dengan algoritma yang telah dibuat kemudian hasil pengolahan data tersebut dikirimkan ke database online dan akan ditampilkan pada *smartphone* dari sisi pengguna.

B. Flowchart

Adapun *flowchart* dari sistem tersebut sebagaimana ditunjukkan Gambar 8. Pada Gambar 8. menjelaskan bahwa ada dua program yang bekerja secara bersamaan, yaitu pada Arduino dan aplikasi yang pada *smartphone*. Pada Arduino, saat sistem dinyalakan maka data hasil pembacaan sensor SCT 013 akan diterima Arduino sebagai input ADC, kemudian data ADC akan diolah menjadi sebuah data informasi nilai arus, nilai arus tersebut telah difilter dengan dari noise dengan menggunakan algoritma Kalman Filter. Kemudian data tersebut akan dikirim melalui wifi ke database online dan disimpan pada *firebase*.

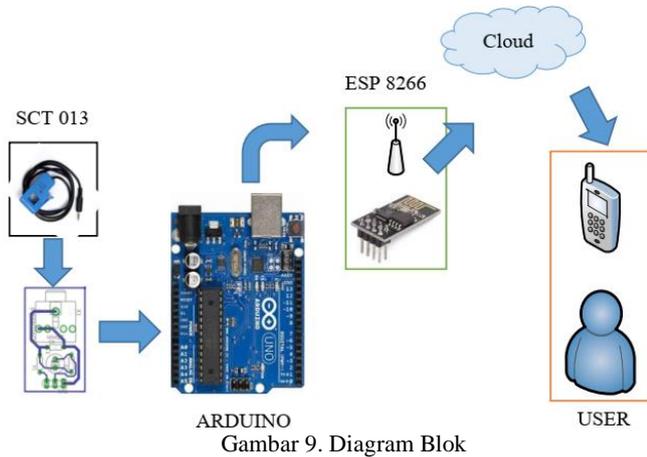
Pada *Smartphone* saat aplikasi dibuka dan *smartphone* terhubung ke internet maka aplikasi tersebut akan melakukan sinkronisasi terhadap library dan data base pada *firebase*. Aplikasi tersebut akan mengambil data yang disimpan pada database, kemudian akan menampilkannya.



Gambar 8. Flowchart Sistem

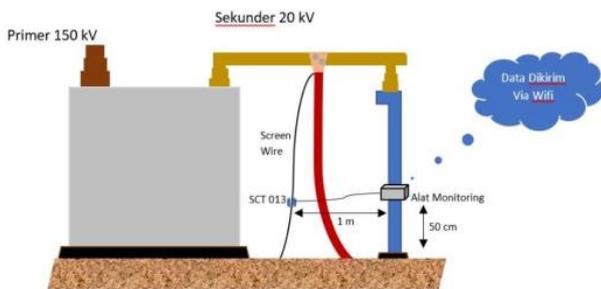
C. Perancangan Hardware

Pada perancangan hardware skema yang dirancang sebagaimana pada diagram blok Gambar 9.

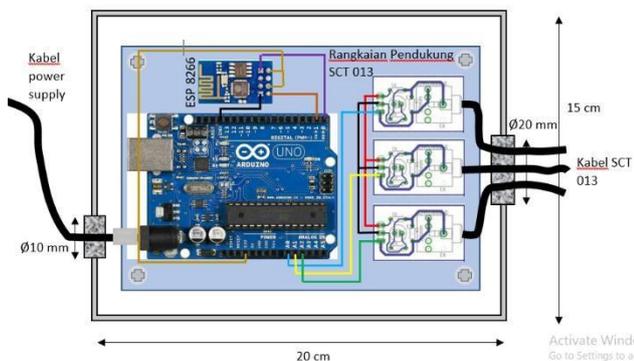


Gambar 9. Diagram Blok

Untuk pemasangan sensor SCT-013, serta resistor dan kapasitor pada PCB akan mengikuti rancangan rangkaian yang telah dibuat. Sumber volt yang digunakan untuk rangkaian sensor arus pada sistem monitoring ini berasal dari *power supply* dengan besar, yaitu 5 V dimana akan dihubungkan dengan kaki R3 dengan nilai 10K Ohm, lalu R3 akan dihubungkan seri dengan R2 sebesar 10K Ohm yang kemudian dihubungkan ke GND. Untuk besar nilai kapasitor adalah 10uF dan untuk nilai R1 yang akan digunakan, terlebih dahulu dilakukan perhitungan untuk menentukannya besar nilai burden resistor yang akan digunakan oleh sensor arus listrik SCT-013 atau tepatnya pada model SCT- 013-000. Pemasangan alat akan dilakukan pada kabel sisi sekunder trafo 150 kV/20 kV sebagaimana pada Gambar 10. Untuk perancangan alat sendiri sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 11.



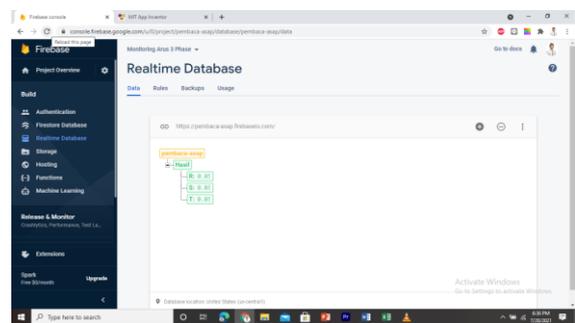
Gambar 10. Pemasangan Alat



Gambar 11. Perancangan Alat

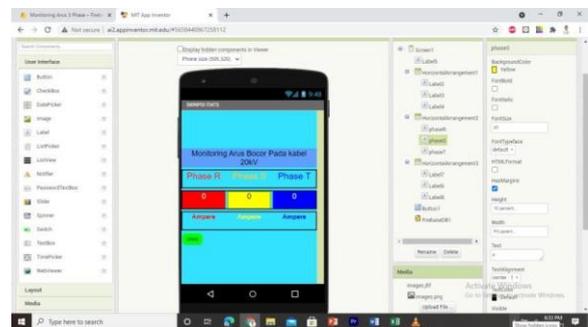
D. Perancangan Software

Pada perancangan software alat monitoring ini menggunakan Firebase yang digunakan sebagai cloud database dan App Inventor sebagai antar muka tampilan yang terdapat di android *smartphone*. *Firestore realtime database* memungkinkan untuk dapat membangun aplikasi kolaboratif yang kaya dengan menyediakan akses database yang aman langsung dari kode klien. Data akan disimpan di drive local, *event real-time* juga terus *offline*, sehingga pengguna akhir dapat bereaksi dengan cepat. Setelah koneksi ke perangkat dibuat kembali, database *realtime* akan menyinkronkan perubahan data lokal dengan pembaruan jarak jauh yang terjadi saat klien *offline*, sehingga perbedaan apa pun akan digabungkan secara otomatis Perancangan pada firebase sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Perancangan Firebase

Agar melihat data dalam database kemudian ditampilkan dalam android *smartphone*, maka diperlukan mengembangkan aplikasi menggunakan App Inventor. Data Firebase diperoleh dengan menambahkan listener asinkron ke firebase. database. *Reference.Listener*, yang dipicu sekali untuk status data awal dan dimulai ulang setiap kali data berubah. Untuk membaca data saat ini dan mengidentifikasi perubahan, gunakan metode *on ()* atau *Once ()* dari database Firebase. Referensi untuk memantau setiap kondisi. Perancangan antarmuka pada *smatphone* sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 13.

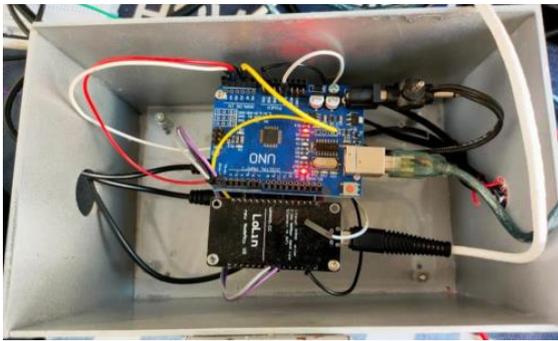


Gambar 13. Perancangan Antarmuka

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian awal dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor arus SCT-013 melalui serial monitor IDE Arduino dengan pembacaan

alat ukur Tang Ampere. Adapun hasil perancangan alat monitoring arus bocor tersebut sebagaimana ditunjukkan Gambar 14. Sedangkan untuk proses pengujian pembacaan sensor arus SCT-013 dan pengukuran manual ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 14. Alat Monitoring Arus Bocor



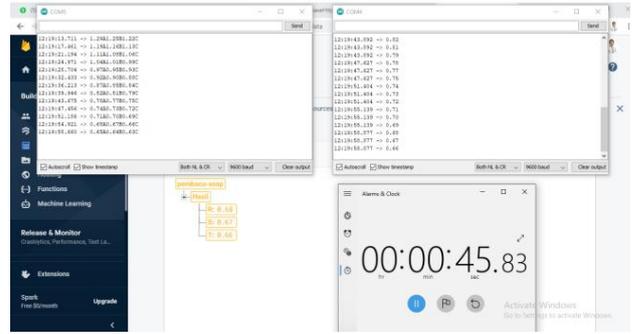
Gambar 15. Pengujian Pembacaan Nilsu Arus

Hasil pembacaan nilai arus sebagaimana terdapat pada Tabel 1. Berdasarkan tabel tersebut menunjukkan, bahwa hasil pembacaan diantara keduanya masih mempunyai selisih pembacaan paling besar 2.17 % dan paling sedikit 0.75 %.

Tabel 1. Hasil Pembacaan Arus

| No | Monitoring Arus Tiap Phase (A) | | | Alat Ukur (A) | Error Pembacaan Tiap Phase (%) | | |
|----|--------------------------------|-------------|-------------|---------------|--------------------------------|------|------|
| | SCT - 1 (R) | SCT - 2 (S) | SCT - 3 (T) | | R | S | T |
| 1 | 0.47 | 0.47 | 0.47 | 0.46 | 2.17 | 2.17 | 2.17 |
| 2 | 1.34 | 1.34 | 1.34 | 1.33 | 0.75 | 0.75 | 0.75 |
| 3 | 1.83 | 1.83 | 1.83 | 1.81 | 1.10 | 1.10 | 1.10 |

Pengujian selanjutnya dilakukan untuk mengetahui waktu pengiriman data pembacaan sensor ke *firebase*. Pada pengujian ini data yang diperoleh akah dikirimkan melalui wifi ke *firebase*, kemudian data tersebut akan disimpan pada database *online*. Data yang ada pada database tersebut akan di ambil dan ditampilkan pada aplikasi yang sudah diinstal pada *smartphone*. Hasil pengiriman data ke dapat dilihat pada Gambar 16. Hasil dari pengujian ini sendiri sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2. Berdasarkan hasil tersebut menunjukkan rata-rata waktu tempuh pengiriman data cukup singkat selama 2 detik.

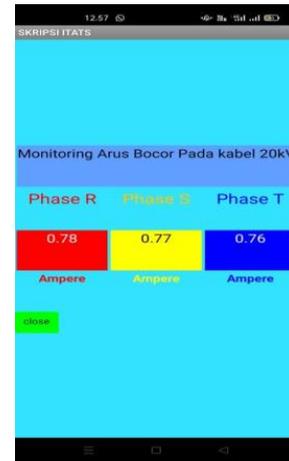


Gambar 16. Pengiriman data ke *firebase*

Tabel 2. Waktu Pengiriman Data ke *firebase*

| No | Waktu Data Kirim | Waktu Data di Terima | Waktu Pengiriman |
|----|------------------|----------------------|------------------|
| 1 | 12:19:43 | 12:19:45 | 2 detik |
| 2 | 12:19:47 | 12:19:48 | 1 detik |
| 3 | 12:19:51 | 12:19:53 | 2 detik |
| 4 | 12:19:55 | 12:19:57 | 2 detik |
| 5 | 12:19:58 | 12:19:60 | 2 detik |

Selanjutnya adalah melakukan pengujian terhadap pengambilan data dari *firebase* untuk ditampilkan pada aplikasi di *Smartphone*. Terlebih dahulu menginstal aplikasi yang telah didesain menggunakan APP Inventor. Pada Gambar 17 menunjukkan tampilan hasil *screenshot* aplikasi monitoring pada *smartphone* Android.



Gambar 17. Tampilan Monitoring Arus Bocor

Tujuan pengujian ini untuk memastikan bahwa data dari *firebase* telah dapat ditampilkan pada *smartphone*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan stopwatch untuk mengamati waktu yang dibutuhkan untuk mengirimkan data dari *firebase* ke *smartphone*. Hasil Pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan hasil tersebut dapat diketahui, bahwa waktu yang dibutuhkan *firebase* untuk *update* data setelah dikirim oleh Arduino adalah rata-rata 2 detik. Waktu tersebut dapat dikatankan relatife singkat. Perbedaan waktu pengiriman tergantung dengan kondisi jaringan wifi yang digunakan.

Tabel 3. Waktu Penampilan Data ke *Smartphone*

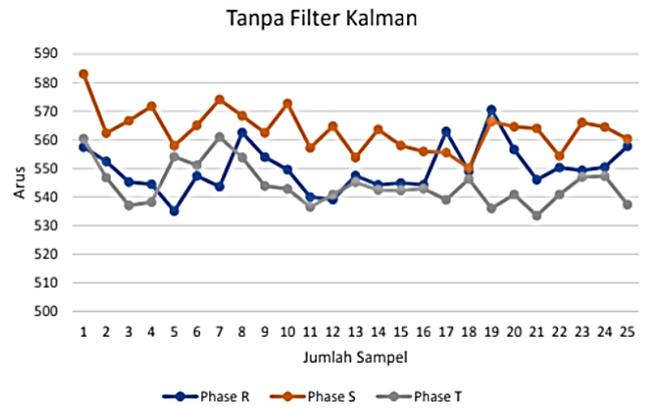
| No | Sampel Data | Waktu Data di Terima |
|----|-------------|----------------------|
| 1 | Data 1 | 2.22 detik |
| 2 | Data 2 | 2.32 detik |
| 3 | Data 3 | 2.47 detik |
| 4 | Data 4 | 2 detik |
| 5 | Data 5 | 1.12 detik |
| 6 | Data 6 | 1.25 detik |
| 7 | Data 7 | 1.91 detik |

Untuk mengetahui hasil sistem secara keseluruhan, maka dilakukan pengujian sistem tanpa dan dengan menggunakan filter Kalman. Pada pengujian ini dilakukan dengan membandingkan hasil monitoring di *smartphone* dengan hasil pengukuran menggunakan alat ukur tang ampere sebagai validasi.

Adapun hasil monitoring tanpa menggunakan filter Kalman ditunjukkan pada Tabel 4 dan Gambar 18.

Tabel 4. Monitoring Arus tanpa Filter Kalman

| Monitoring Arus Tiap Phase (A) | | | Alat Ukur (A) | Error Pembacaan Tiap Phase (%) | | |
|--------------------------------|--------|--------|---------------|--------------------------------|--------|--------|
| R | S | T | | R | S | T |
| 0.5575 | 0.5830 | 0.5603 | 0.56 | 0.4554 | 4.0982 | 0.0607 |
| 0.5524 | 0.5624 | 0.5468 | 0.56 | 1.3571 | 0.4214 | 2.3589 |
| 0.5452 | 0.5667 | 0.5371 | 0.56 | 2.6375 | 1.1929 | 4.0964 |
| 0.5444 | 0.5717 | 0.5382 | 0.56 | 2.7839 | 2.0893 | 3.8964 |
| 0.5351 | 0.5579 | 0.5541 | 0.56 | 4.4482 | 0.3839 | 1.0554 |
| 0.5474 | 0.5650 | 0.5511 | 0.56 | 2.2554 | 0.8964 | 1.5982 |
| 0.5436 | 0.5740 | 0.5609 | 0.56 | 2.9232 | 2.5054 | 0.1679 |
| 0.5625 | 0.5683 | 0.5538 | 0.56 | 0.4429 | 1.4839 | 1.1107 |
| 0.5540 | 0.5624 | 0.5438 | 0.56 | 1.0768 | 0.4339 | 2.8857 |
| 0.5495 | 0.5727 | 0.5429 | 0.56 | 1.8732 | 2.2607 | 3.0625 |
| 0.5400 | 0.5572 | 0.5366 | 0.56 | 3.5804 | 0.5036 | 4.1857 |
| 0.5391 | 0.5648 | 0.5408 | 0.56 | 3.7357 | 0.8536 | 3.4214 |
| 0.5474 | 0.5538 | 0.5452 | 0.56 | 2.2482 | 1.1054 | 2.6446 |
| 0.5442 | 0.5636 | 0.5425 | 0.56 | 2.8196 | 0.6429 | 3.1304 |
| 0.5449 | 0.5580 | 0.5423 | 0.56 | 2.7054 | 0.3589 | 3.1643 |
| 0.5443 | 0.5559 | 0.5429 | 0.56 | 2.8054 | 0.7321 | 3.0571 |
| 0.5628 | 0.5555 | 0.5390 | 0.56 | 0.5054 | 0.7982 | 3.7464 |
| 0.5490 | 0.5501 | 0.5463 | 0.56 | 1.9714 | 1.7661 | 2.4518 |
| 0.5704 | 0.5664 | 0.5360 | 0.56 | 1.8643 | 1.1357 | 4.2786 |
| 0.5566 | 0.5645 | 0.5408 | 0.56 | 0.6161 | 0.8071 | 3.4232 |
| 0.5460 | 0.5640 | 0.5335 | 0.56 | 2.5000 | 0.7125 | 4.7357 |
| 0.5503 | 0.5543 | 0.5409 | 0.56 | 1.7357 | 1.0179 | 3.4179 |
| 0.5493 | 0.5660 | 0.5470 | 0.56 | 1.9143 | 1.0732 | 2.3304 |
| 0.5504 | 0.5645 | 0.5473 | 0.56 | 1.7125 | 0.8000 | 2.2768 |
| 0.5578 | 0.5603 | 0.5374 | 0.56 | 0.4000 | 0.0536 | 4.0446 |
| % Error Rata rata per Phase | | | | 2.0547 | 1.1251 | 2.8241 |



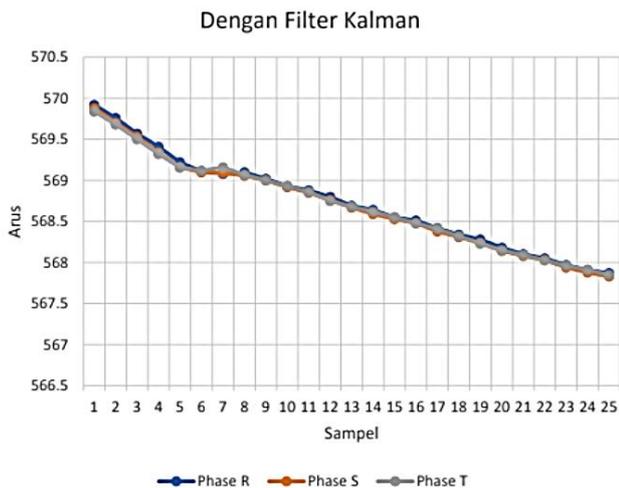
Gambar 18. Grafik Pembacaan Tanpa Filter Kalman

Berdasarkan hasil pengujian ini, maka terlihat bahwa hasil pengukuran pembacaan sensor yang termonitoring tidak stabil dan memiliki *error* yang cukup besar dengan nilai terbesar 4.7 %. Dimana dengan rata - rata *error* per phase adalah 2.05 % phase R, 1.13 % phase S, 2.82 % phase T.

Setelah melakukan pengujian tanpa menggunakan filter kalman, selanjutnya pengujian dilakukan menggunakan filter Kalman. Pada pengujian ini diberikan parameter Gain Kalman dengan nilai Q 0.001. Adapun hasil monitoring dengan menggunakan filter Kalman ditunjukkan pada Tabel 5 dan Gambar 19.

Tabel 5. Monitoring Arus dengan Filter Kalman

| Monitoring Arus Tiap Phase (A) | | | Alat Ukur (A) | Error Pembacaan Tiap Phase (%) | | |
|--------------------------------|--------|--------|---------------|--------------------------------|--------|--------|
| R | S | T | | R | S | T |
| 0.5699 | 0.5699 | 0.5698 | 0.56 | 1.7714 | 1.7643 | 1.7571 |
| 0.5698 | 0.5697 | 0.5697 | 0.56 | 1.7429 | 1.7321 | 1.7286 |
| 0.5696 | 0.5695 | 0.5695 | 0.56 | 1.7089 | 1.7018 | 1.6964 |
| 0.5694 | 0.5693 | 0.5693 | 0.56 | 1.6804 | 1.6679 | 1.6643 |
| 0.5692 | 0.5692 | 0.5692 | 0.56 | 1.6464 | 1.6357 | 1.6357 |
| 0.5691 | 0.5691 | 0.5691 | 0.56 | 1.6268 | 1.6250 | 1.6286 |
| 0.5691 | 0.5691 | 0.5692 | 0.56 | 1.6214 | 1.6232 | 1.6357 |
| 0.5691 | 0.5691 | 0.5691 | 0.56 | 1.6250 | 1.6179 | 1.6196 |
| 0.5690 | 0.5690 | 0.5690 | 0.56 | 1.6107 | 1.6071 | 1.6071 |
| 0.5689 | 0.5689 | 0.5689 | 0.56 | 1.5946 | 1.5929 | 1.5946 |
| 0.5689 | 0.5689 | 0.5689 | 0.56 | 1.5857 | 1.5804 | 1.5821 |
| 0.5688 | 0.5688 | 0.5688 | 0.56 | 1.5714 | 1.5643 | 1.5625 |
| 0.5687 | 0.5687 | 0.5687 | 0.56 | 1.5518 | 1.5482 | 1.5500 |
| 0.5686 | 0.5686 | 0.5686 | 0.56 | 1.5429 | 1.5339 | 1.5393 |
| 0.5686 | 0.5685 | 0.5686 | 0.56 | 1.5268 | 1.5232 | 1.5268 |
| 0.5685 | 0.5685 | 0.5685 | 0.56 | 1.5196 | 1.5143 | 1.5143 |
| 0.5684 | 0.5684 | 0.5684 | 0.56 | 1.5036 | 1.4964 | 1.5018 |
| 0.5683 | 0.5683 | 0.5683 | 0.56 | 1.4893 | 1.4839 | 1.4857 |
| 0.5683 | 0.5682 | 0.5682 | 0.56 | 1.4786 | 1.4714 | 1.4696 |
| 0.5682 | 0.5681 | 0.5682 | 0.56 | 1.4607 | 1.4536 | 1.4554 |
| 0.5681 | 0.5681 | 0.5681 | 0.56 | 1.4464 | 1.4429 | 1.4446 |
| 0.5681 | 0.5680 | 0.5680 | 0.56 | 1.4375 | 1.4339 | 1.4339 |
| 0.5680 | 0.5679 | 0.5680 | 0.56 | 1.4232 | 1.4179 | 1.4214 |
| 0.5679 | 0.5679 | 0.5679 | 0.56 | 1.4125 | 1.4071 | 1.4125 |
| 0.5679 | 0.5678 | 0.5679 | 0.56 | 1.4054 | 1.3982 | 1.4018 |
| % Error Rata rata per Phase | | | | 1.5594 | 1.5535 | 1.5548 |



Gambar 19. Grafik Pembacaan dengan Filter Kalman

Berdasarkan hasil pengujian ini, maka terlihat bahwa hasil pengukuran pembacaan data setelah menambahkan filter Kalman menghasilkan pengukuran nilai yang lebih konstan dengan memiliki prosentase *error* terbesar adalah 1.8 %. Dimana dengan rata - rata *error* per phase adalah 1.5594 % phase R, 1.5535 % phase S, 1.5548 % phase T. Hasil ini menunjukkan, bahwa penggunaan kalman Filter dapat mereduksi *noise* dalam pengukuran arus bocor pada jaringan tegangan menengah 20 kV.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka penggunaan filter Kalman dalam sistem monitoring arus bocor berbasis IoT pada tegangan 20 kV dapat mereduksi *noise* pengukuran. Sehingga hasil pengukuran yang diperoleh lebih konstan dari nilai pengukuran sebenarnya menggunakan alat ukur dengan rata – rata *error* per phase, 1.5594 % phase R, 1.5535 % phase S, 1.5548 % phase T.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Sofwandan and S. S. Angga Kusuma, "Pendeteksian Dini Terhadap Arus Bocor Kabel Tanah Tegangan Menengah Pada Transformator 150/20 kV," *Sinusoida*, vol. XX, no. 2, pp. 65–72, Apr. 2018.
- [2] A. Indah, S. A. Hulukati, Yusrianto Malago, and Yusrianto Malago, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Arus Bocor Isolator," *ELE*, vol. 16, no. 1, pp. 110–115, Jan. 2022, doi: 10.23960/elc.v16n1.2242.
- [3] B. M. H. Kilis, "Penerapan Sistem Proteksi Arus Bocor pada Instalasi Listrik Rumah Tinggal," vol. 1, no. 2, p. 10, 2021.
- [4] R. D. Sindhu, I. Sari, and D. P. Lestari, "Pembuatan Prototype Smart Home Menggunakan Nodemcu Esp8266 V3 Dan Chat Bot Pada Smartphone Android," *infokom*, vol. 26, no. 2, pp. 123–135, 2021, doi: 10.35760/ik.2021.v26i2.4157.
- [5] R. A. Firmansyah, T. Suheta, and D. Antoni, "Perancangan Alat Monitoring Dan Penyimpan Data Pada Panel Hubung Tegangan Rendah Di Trafo Gardu Distribusi Berbasis Mikrokontroler," p. 6, 2015.

- [6] Moch Febriawan Harianto and Yuliyanto Agung Prabowo, "Sistem Kontrol Pemanas Air Kamar Mandi Menggunakan PID Controller," in *Perkembangan Riset Energi dan Otomasi Berbasis Teknologi Informasi Menghadapi Era New Normal*, Surabaya, Jun. 2021, vol. I, pp. 155–160. doi: 10.31284/p.snestic.2021.1777.
- [7] R. A. Firmansyah, Y. A. Prabowo, and T. Suheta, "Rancang Bangun Pengukur Detak Jantung Non Kontak Menggunakan Pencitraan Termal untuk Robot Security," vol. 6, p. 9, 2022.
- [8] V. Firmansyah, "Aplikasi Kalman Filter Pada Pembacaan Sensor Suhu Untuk Pemantauan Kondisi Ruang Laboratorium," p. 7.
- [9] W. S. Pambudi and I. Suhendra, "Perbaikan Respon Output Menggunakan Implementasi Kalman Filter Pada Simulasi Pembacaan Sensor Beban Load Cell," p. 10, 2015.
- [10] F. Ardian, N. Soedjarwanto, and M. Komarudin, "Rancang Bangun Prototype Alat Pendeteksi Arus Melalui Layanan Pesan Singkat (SMS) Secara Otomatis Berbasis Mikrokontroler," vol. 9, no. 1, p. 12, 2015.