

# IoT Based Real-Time Monitoring Kubikel Tegangan Menengah di Terminal Peti Kemas

<sup>1\*</sup> Ahmad Firyal Adila, <sup>2</sup> Syahrul Faizin Al Absi, <sup>3</sup> Muhammad Azumardi Fahmi,

<sup>4</sup> Darma Arif Wicaksono, <sup>5</sup> Fawaidul Badri, <sup>6</sup> Sony Junianto

<sup>1,2,3</sup> Teknik Elektro Industri, Departemen Teknik Elektro, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya

<sup>4</sup> Teknik Rekayasa Otomasi, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Madiun, Madiun

<sup>5</sup> Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Islam Malang, Malang

<sup>6</sup> Sistem Pembangkit Energi, Departemen Teknik Mekanika dan Energi, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya

<sup>1</sup>firyal@pens.ac.id, <sup>2</sup>syahrul.faizin10@gmail.com, <sup>3</sup>azumardifahmi@gmail.com, <sup>4</sup>darma@pens.ac.id,

<sup>5</sup>fawaidulbadri@unisma.ac.id, <sup>6</sup>sony@pens.ac.id

## Article Info

### Keywords:

Kubikel Tegangan Menengah  
IoT  
Real-time monitoring  
Transformator

Copyright © 2025 -SNTE  
All rights reserved

## ABSTRACT (11 PT)

Abstrak— Kubikel tegangan menengah 20 kV merupakan komponen penting dalam sistem distribusi tenaga listrik, kubikel memiliki fungsi sebagai pusat kontrol, proteksi, dan distribusi energi listrik pada tegangan menengah. Kubikel dirancang untuk mengelola aliran listrik secara efisien dan aman dengan pertimbangan pada kebutuhan operasional serta standar keamanan yang berlaku. Teknologi modern telah memungkinkan kubikel untuk terintegrasi dengan fitur digital seperti sistem monitoring kubikel berbasis Internet of Things (IoT) dan komunikasi melalui Human Machine Interface (HMI). Pada studi ini telah dilakukan rancang bangun alat monitoring berbasis IoT dan dilakukan pengujian pada kubikel tegangan menengah 20 kV outgoing transformator daya 400 kVA di Power House HVS 2 Terminal Teluk Lamong, dengan menggunakan 3 buah PZEM-004T sebagai sensor dan ESP32 sebagai mikrokontroler untuk mengolah nilai sensor dan pengiriman nilai sensor ke database webhosting, dengan hasil pengujian didapatkan selisih atau error pengukuran antara menggunakan PZEM-004T dengan Power Meter Schneider PM5100 yakni pada tegangan 0,02%–0,29%, pada arus 0,07%–4,86%, dan pada daya aktif total 4,21%–11,72%. Pengujian alat juga dilakukan pengujian pada jarak sejauh 2 kilometer berhasil menerima data sensor dengan akurat.

### Corresponding Author:

Ahmad Firyal Adila

Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya

Jl. Kampus PENS Raya ITS, Sukolilo, Surabaya

Email: firyal@pens.ac.id

## I. PENDAHULUAN

Pelabuhan merupakan salah satu infrastruktur yang sangat penting untuk mendongkrak ekonomi suatu negara, karena pada pelabuhan terjadi aktivitas perdagangan dan termasuk logistik. Terminal Teluk Lamong merupakan salah satu pelabuhan yang berada di bawah pengawasan pemerintah yang tentunya perlu memiliki keandalan tinggi dalam melakukan aktivitas perdagangan dan logistik [1]. Hal ini tentunya

melibatkan kesiapan pada alat kerja dan tenaga kerja, kebanyakan alat-alat bongkar muat pada pelabuhan Terminal Teluk Lamong menggunakan energi listrik sebagai supply-nya, dengan begitu pengawasan jaringan listrik untuk alat tersebut harus terus dipastikan keamanannya. Terminal Teluk Lamong merupakan satu-satunya *green port* di Indonesia. Pelabuhan ini dibangun pada tahun 2010 dan pembangunan tahap pertama selesai pada tahun 2014 dan akan terus dilakukan pengembangan sampai tahun 2030. Fasilitas yang digunakan sangat ramah lingkungan seperti penggunaan truk berbahan bakar gas dan *ship to shore* yang menggunakan tenaga listrik.

Kubikel merupakan salah satu komponen yang dapat juga dimanfaatkan sebagai pendeteksi kondisi jaringan listrik dalam keadaan baik atau tidak [2]. Namun dalam pengecekan atau pengawasan kubikel terdapat kendala, setiap teknisi perlu memastikan langsung ke *power house* kubikel tersebut ditempatkan [3]. Pada pelaksanaannya, tim *operation and maintenance* memerlukan perjalanan sekitar 2 km untuk menuju ke *power house* tempat kubikel tersebut berada menggunakan kendaraan operasional. Terdapat SOP (Standar Operasional Prosedur) dalam melakukan *maintenance* pada CB, dimulai dari mematikan PMT (Pemutus Tenaga) terlebih dahulu selanjutnya mematikan PMS (Pemisah Saluran) dan yang terakhir yaitu mematikan ES (*Earthing Switch*). Pekerjaan pada kubikel ini adalah bagian dari *maintenance* rutin atau yang bisa disebut dengan preventif. Untuk mencegah kegagalan pada kubikel, Maka selanjutnya kubikel bisa lakukan pemeliharaan, yang sering dilakukan pemeliharaan yaitu membersihkan CB dengan tipe pengaman Gas SF6. Dan pada saat itu pada kegiatan magang kami terdapat gangguan yang cukup serius dimana kubikel yang terdapat pada ruangan HVS-3 (High Voltage Station) untuk pengaman atau proteksi dari area workshop Terminal Teluk Lamong serta area *automated stacking crane* yang mengalami gangguan listrik padam sekitar area *shore*, yang diakibatkan oleh kubikel yang berada di ruangan HVS-3 hingga terjadi arus balik ke ruangan gardu bagi yang berada di area depan Teluk Lamong.



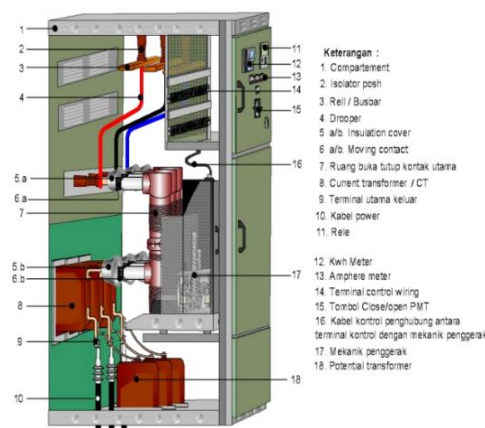
Gbr 1. Lokasi dan jarak monitoring panel kubikel tegangan menengah dan transformator daya

Aplikasi penggunaan IoT digunakan sebagai solusi untuk meningkatkan keandalan dalam memonitoring sistem kubikel pada jaringan listrik tegangan menengah secara jarak jauh [4]. Selain itu, pekerjaan *operation and maintenance* pada ruangan HVS (*High Voltage Station*) menjadi lebih mudah. Dimana dapat mempermudah monitoring *maintenance* pada kubikel yang berada di ruangan HVS di wilayah Terminal Teluk Lamong dan mengetahui kebutuhan *maintenance* pada CB (*Circuit Breaker*). Pada artikel ini telah dirancang sistem monitoring kubikel berbasis IoT yang aplikasinya untuk membantu pemantauan pada *power house* yang berada di pelabuhan terminal peti kemas.

**II. KAJIAN PUSTAKA**

**A. Panel Kubikel**

Kubikel adalah seperangkat peralatan listrik yang dipasang pada gardu induk, penghubung, pengontrol dan proteksi sistem distribusi tenaga listrik tegangan 20 kV [4]. Kubikel berfungsi sebagai pengendali, penghubung dan pelindung serta membagi tenaga listrik dari sumber tenaga listrik [5]. Berdasarkan fungsi dan nama peralatan yang terpasang kubikel dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu pemutus tenaga (PMT), Pemisah (PMS), LBS (*Load Break Switch*), *CB Out Metering* (PMT CB), *Transformer Protection* (TP), *Potential Transformer* (PT) dan B1 (Terminal Out Going). Bagian-bagian utama kubikel terbagi 3 yaitu *Incoming*, *Metering* dan *Outgoing*. Masing-masing bagian memiliki kontak pentanahan (*grounding*). Pengertian pengoperasian kubikel adalah merubah posisi keluar/masuk kontak hubung (LBS, PMT) di gardu induk, gardu distribusi dan gardu hubung untuk keperluan Pengaturan beban, pengoperasian jaringan baru dan pekerjaan [6]. Aplikasi monitoring dan pengendalian berbasis IoT yang lain dapat ditemui pada monitoring sistem fotovoltaik [7].



Gbr 2. Struktur panel kubikel

**B. Transformator Daya**

Transformator daya distribusi ini berfungsi untuk menurunkan tegangan menengah 1.250 kV ke tegangan rendah 400/230 V. Disebut trafo distribusi karena perangkat ini digunakan untuk mendistribusikan energi listrik atau menyalurkan energi listrik dari gardu induk ke konsumen.

**C. ESP 32 WROOM 32D**

ESP32-WROOM-32D adalah modul Wi-Fi dan Bluetooth yang dirancang untuk aplikasi *Internet of Things* (IoT), automasi, dan perangkat pintar. Modul ini dikembangkan oleh Espressif Systems dan didasarkan pada mikroprosesor ESP32, yang merupakan System-on-Chip (SoC) dengan kemampuan komputasi yang tinggi, efisiensi daya, dan konektivitas nirkabel yang kuat.



Gbr 3. ESP 32

Keunggulan ESP32-WROOM-32D:

- a) Performa tinggi dengan kemampuan multitasking.
- b) Fitur konektivitas nirkabel yang canggih dalam satu modul.
- c) Harga terjangkau dengan berbagai fitur premium.
- d) Mudah diintegrasikan dengan platform pengembangan seperti Arduino IDE, PlatformIO, atau ESP-IDF.

*D. PZEM-004T*

PZEM-004T (100A with CT) adalah modul sensor pengukuran daya listrik yang digunakan untuk memantau parameter listrik pada sistem AC (arus bolak-balik). Modul ini dirancang untuk membaca informasi seperti tegangan, arus, daya aktif, energi, frekuensi, dan faktor daya dari perangkat listrik yang terhubung. Dengan kemampuannya yang serbaguna, modul ini banyak digunakan dalam aplikasi Internet of Things (IoT), sistem pemantauan energi, dan proyek otomatisasi. Adapun keunggulan PZEM-004T adalah sebagai berikut.

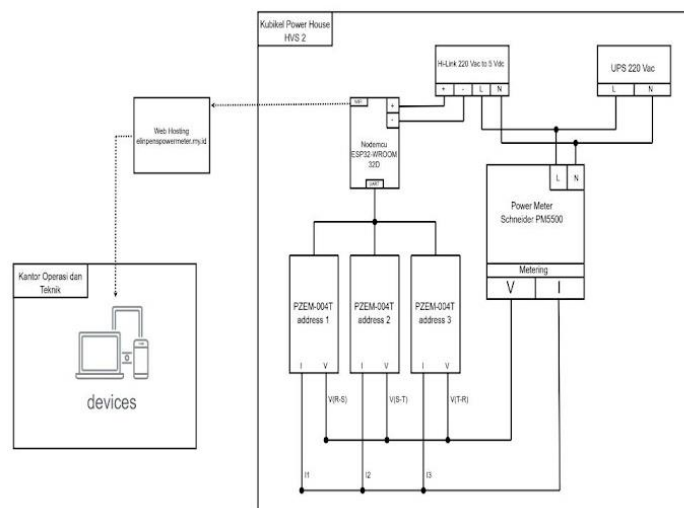


Gbr. 4 PZEM-004T

- a) Non-invasif: CT memungkinkan pengukuran tanpa memotong atau mengganggu jalur listrik.
- b) Komunikasi Mudah: Dukungan protokol Modbus RTU mempermudah integrasi dengan berbagai platform.
- c) Parameter Lengkap: Modul ini dapat memantau berbagai parameter listrik dalam satu perangkat.
- d) Skalabilitas: Cocok untuk aplikasi rumah tangga, industri kecil, hingga sistem skala besar.

**III. METODE PENELITIAN**

Cara kerja alat ini adalah memanfaatkan tegangan dan arus yang diukur pada power meter atau relay Proteksi yang telah terpasang di kubikel, dengan melakukan jumper kabel tegangan *metering* pada power meter merk Schneider PM5100 dengan nilai tegangan yang diukur adalah hasil transformasi dari Voltage Transformator (VT) dengan rasio 20 kV : 100 V dan nilai arus yang diukur hasil transformasi dari Current Transformator (CT) dengan rasio 5 A : 1 A. Blok diagram dari sistem yang dibuat ditampakkan pada Gambar 5.



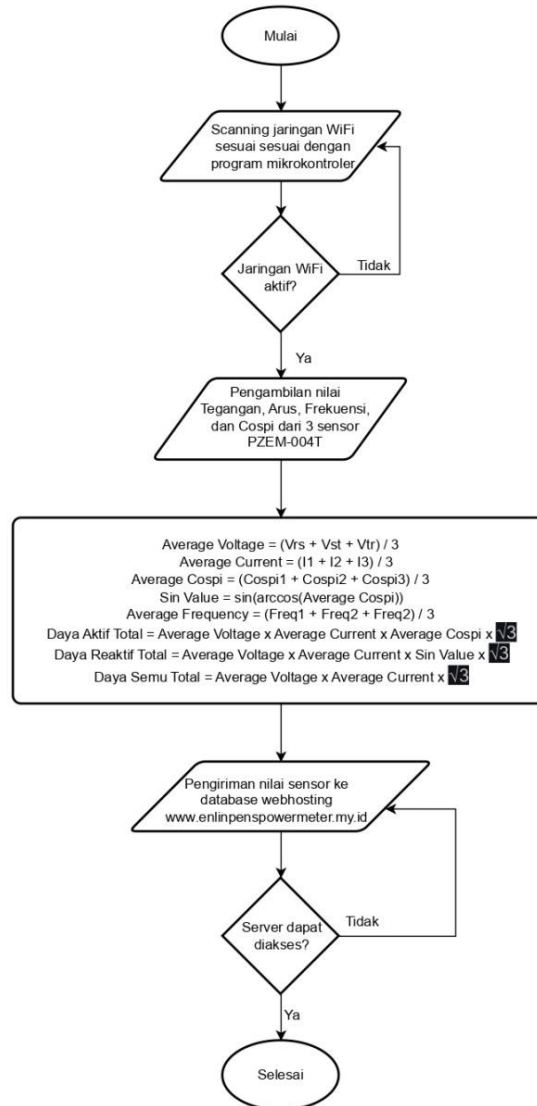
Gbr. 5 Blok diagram sistem IoT-based *real-time monitoring*

**A. Pengambilan Paramater PZEM-004T**

Mikrokontroller di konfigurasi agar bisa terhubung dengan jaringan WiFi yang telah ditentukan. Dengan komunikasi UART akan diambil data untuk addres 1 – 3 meliputi:

- a) Tegangan R-S, Arus I1, Frekuensi tegangan R-S, dan Faktor daya Arus I1 terhadap Tegangan R-S pada sensor PZEM-004T Address 1.
- b) Tegangan S-T, Arus I2, Frekuensi tegangan S-T, dan Faktor daya Arus I2 terhadap Tegangan S-T pada sensor PZEM-004T Address 2.
- c) Tegangan T-R, Arus I3, Frekuensi tegangan T-R, dan Faktor daya Arus I3 terhadap Tegangan T-R pada sensor PZEM-004T Address 3.

Nilai-nilai yang telah diolah setelah itu akan dikirim ke webhosting server [www.elinpenspowermeter.my.id](http://www.elinpenspowermeter.my.id) dan disimpan di database dan dapat diakses oleh setiap *device* yang memiliki internet dan telah membuka domain [www.elinpenspowermeter.my.id](http://www.elinpenspowermeter.my.id) secara *real-time*.



Gbr. 6 Diagram alir sistem monitoring kubikel

**B. Program ESP 32**

Sebagai mikrokontroler utama yang memproses data dari PZEM dan agar dapat menggunakan fitur Internet of Things (IOT), untuk memudahkan, pemrograman ESP32 yang dilakukan pada studi ini menggunakan framework arduino pada arduino IDE. ESP32 diprogram dengan detail runtutan yang ada pada point a hingga point d.

- a) Inisialisasi library
- b) Konfigurasi pembacaan PZEM-004-T
- c) Perhitungan nilai rata rata
- d) Pengiriman data ke web hosting

C. Webhosting

Pada pemrograman Web digunakan *webhosting* dari [www.jagoweb.com](http://www.jagoweb.com) dengan melakukan langganan domain dan panel control untuk webhosting.

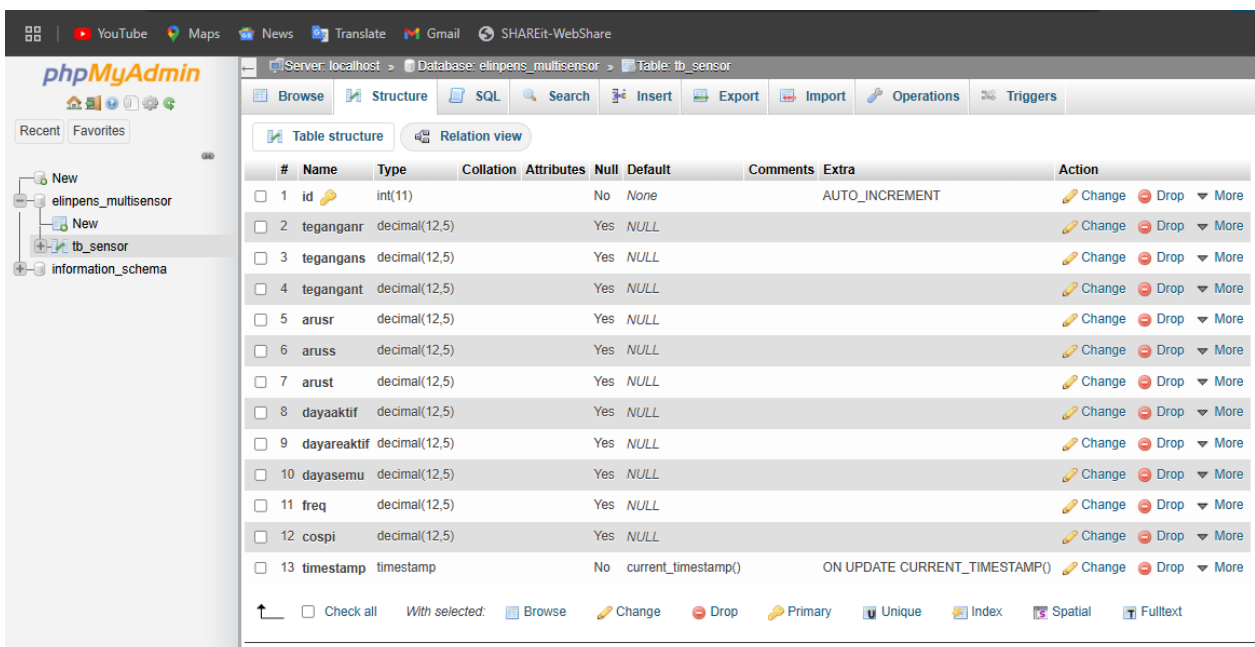
```

1 <!doctype html>
2 <html lang="en">
3 <head>
4 <!-- Required meta tags -->
5 <meta charset="utf-8">
6 <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1, shrink-to-fit=no">
7
8 <!-- Bootstrap CSS -->
9 <link rel="stylesheet" href="https://cdn.jsdelivr.net/npm/bootstrap@4.0.0/dist/css/bootstrap.min.css" integrity="sha384-Gn5384xqQ1aoXA+058RXPxPg6fy4IMVTH0E263XmFc3lSawigFAH/dAi563Xm" crossorigin="anonymous">
10
11 <title>Prototype Monitoring Kubikel PT. LEGI Berbasis IoT</title>
12
13 <script type="text/javascript" src="jquery/jquery.min.js"></script>
14 <!-- Load otomatis/realtime -->
15 <script type="text/javascript">
16 $(document).ready(function () {
17     setInterval(function () {
18         $("#cekv1").load("cekv1.php");
19         $("#cekv2").load("cekv2.php");
20         $("#cekv3").load("cekv3.php");
21         $("#cekv3").load("cekv3.php");
22         $("#cekv3").load("cekv3.php");
23         $("#cekv3").load("cekv3.php");
24         $("#cekv3").load("cekv3.php");
25         $("#cekv3").load("cekv3.php");
26         $("#cekv3").load("cekv3.php");
27         $("#cekv3").load("cekv3.php");
28         $("#cekv3").load("cekv3.php");
29         $("#cekv3").load("cekv3.php");
30         $("#cekv3").load("cekv3.php");
31         $("#cekv3").load("cekv3.php");
32         $("#cekv3").load("cekv3.php");
33         $("#cekv3").load("cekv3.php");
34         $("#cekv3").load("cekv3.php");
35         $("#cekv3").load("cekv3.php");
36         $("#cekv3").load("cekv3.php");
37         $("#cekv3").load("cekv3.php");
38         $("#cekv3").load("cekv3.php");
39         $("#cekv3").load("cekv3.php");
40         $("#cekv3").load("cekv3.php");
41         $("#cekv3").load("cekv3.php");
42         $("#cekv3").load("cekv3.php");
43         $("#cekv3").load("cekv3.php");
44         $("#cekv3").load("cekv3.php");
45     }, 1000);
46     });
47 </script>
48 </head>
49 </html>

```

Gbr 7. Program HTML webhosting

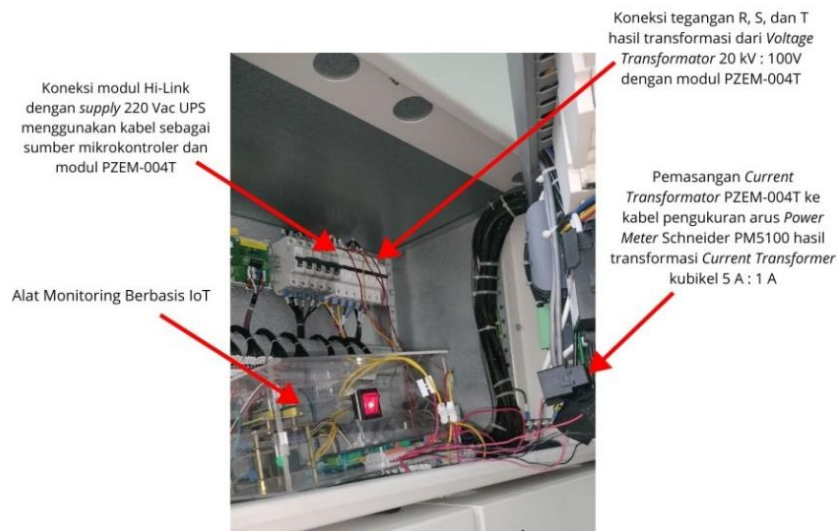
Data pembacaan PZEM diolah dan dikonfigurasi kedalam database agar dapat diakses dengan internet. Gambar 8. menunjukkan file *data base* yang digunakan untuk menyimpan nilai-nilai hasil sensor PZEM-004T yang dikirim menggunakan mikrokontroler ESP32, setelah nilai tersebut disimpan, kemudian dapat dikirim menuju halaman web [www.elinpenspowermeter.my.id](http://www.elinpenspowermeter.my.id).



Gbr. 8 Database parameter yang diukur

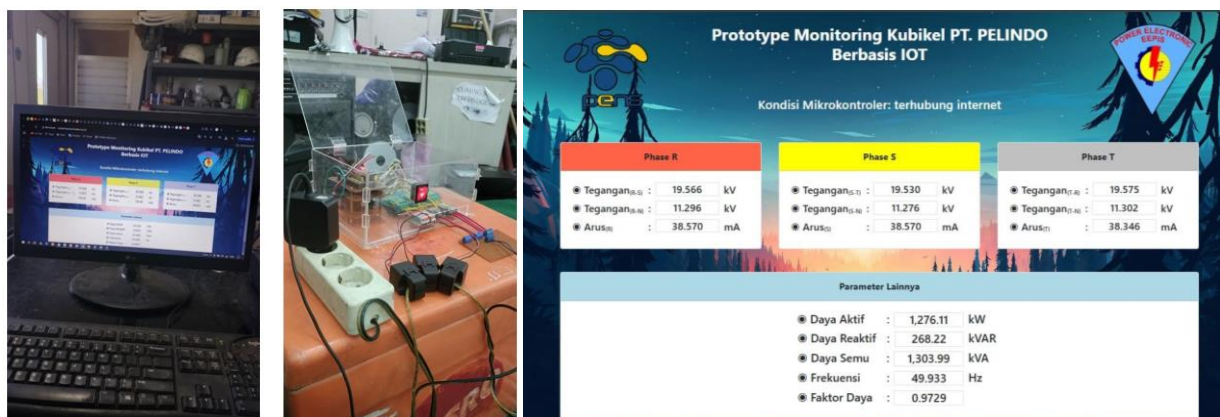
IV. HASIL PENGUJIAN DAN ANALISIS

Proses pengujian alat dilakukan perbandingan nilai antara monitoring menggunakan alat yang telah dibuat dengan power meter yang telah terpasang pada kubikel yakni power meter Schneider PM5100 selama 1 jam 10 menit setiap 5 menit dengan total data adalah 15 data pengukuran, data yang dibandingkan adalah nilai rata-rata tegangan, arus dan daya aktif PZEM-004T dengan PM5100. Berikut merupakan salah satu foto metode pengambilan data menggunakan 2 *device* yang salah satu digunakan untuk membandingkan nilai pada power meter Schneider PM5100 dan *device* lainnya digunakan untuk pengujian monitoring dengan jarak sekitar 10 meter dari panel kubikel.



Gbr. 9 Instalasi peralatan real-time monitoring pada kubikel tegangan menengah

Web hosting yang telah dibuat digunakan untuk memonitoring tegangan, arus, dari masing-masing fasa tranfomator selain itu sistem yang dibuat juga dapat memonitoring daya aktif, daya semu, daya reaktif, frekuensi serta faktor daya. User interface dari monitoring via web diperlihatkan pada Gambar 10.



Gbr. 10 Uji jangkauan monitoring alat dari kantor tim *maintenance* Terminal Teluk Lamong dan dari Politeknik Elektronika Negeri Surabaya serta tampilan *user interface*

Beberapa pengujian yang dilakukan adalah mengambil sampel data hasil pembacaan power meter PM5100 dan PZEM-004T untuk tegangan dan arus kemudian membandingkan pengukuran keduanya.

TABEL I  
PERBANDINGAN NILAI TEGANGAN RATA-RATA PZEM-004T DAN PM5100

No	Waktu	V(R-S) PZEM-004T (kV)	V(S-T) PZEM-004T (kV)	V(T-R) PZEM-004T (kV)	Vavg PZEM-004t (kV)	Vavg PM5500 (kV)	Error Vavg (%)
1	14:50:00	19,885	19,804	19,824	19,838	19,784	0,27
2	14:55:00	19,842	19,744	19,764	19,783	19,829	0,23
3	15:00:00	19,885	19,804	19,824	19,838	19,814	0,12
4	15:05:00	19,905	19,824	19,844	19,858	19,898	0,20
5	15:10:00	19,885	19,824	19,824	19,844	19,836	0,04
6	15:15:00	19,905	19,844	19,844	19,864	19,806	0,29
7	15:20:00	19,905	19,824	19,844	19,858	19,904	0,23
8	15:25:00	20,006	19,925	19,945	19,959	19,906	0,26
9	15:30:00	19,824	19,744	19,764	19,777	19,791	0,07
10	15:35:00	20,086	20,006	20,006	20,033	20,029	0,02
11	15:40:00	20,026	19,945	19,965	19,979	19,967	0,06
12	15:45:00	19,986	19,905	19,925	19,939	19,964	0,13
13	15:50:00	20,066	19,986	20,006	20,019	20,010	0,05
14	15:55:00	20,127	20,046	20,066	20,080	20,040	0,20
15	16:00:00	20,127	20,066	20,066	20,086	20,073	0,07

Pengukuran arus dan tegangan yang ditampakkan pada Tabel. 1 dan Tabel. 2 menunjukkan akurasi pembacaan yang sangat baik dibuktikan dengan kecilnya *error* pembacaan antara PZEM-004T dan PM5100 pada pengukuran daya aktif yang ditunjukkan pada Tabel. 3 *error* pengukuran yang terjadi cukup signifikan jika dibandingkan dengan pengukuran arus dan tegangan yang *error* hanya berkisar 0.1% - 4.86%, pada pengukuran daya aktif *error* berkisar di angka 4.21% hingga 11.72%.

TABEL II  
PERBANDINGAN NILAI ARUS RATA-RATA PZEM-004T DAN PM5100

No	Waktu	I(1) PZEM-004T (mA)	I(2) PZEM-004T (mA)	I(3) PZEM-004T (mA)	Iavg PZEM-004t (mA)	Iavg PM5500 (mA)	Error Iavg (%)
1	14:50:00	776,33	782,08	776,33	778,25	786,23	1,02
2	14:55:00	787,83	793,58	787,83	789,75	790,82	0,14
3	15:00:00	799,33	799,33	805,08	801,25	786,80	1,84
4	15:05:00	736,08	741,83	741,83	739,91	753,72	1,83
5	15:10:00	764,83	770,58	770,58	768,66	770,67	0,26
6	15:15:00	695,82	695,82	695,82	695,82	731,35	4,86
7	15:20:00	759,08	764,83	759,08	761,00	773,49	1,62
8	15:25:00	793,58	799,33	793,58	795,50	776,84	2,40
9	15:30:00	793,58	799,33	793,58	795,50	777,71	2,29
10	15:35:00	776,33	776,33	782,08	778,25	768,82	1,23
11	15:40:00	776,33	776,33	776,33	776,33	772,32	0,52
12	15:45:00	759,08	764,83	758,08	760,66	756,07	0,61
13	15:50:00	770,58	776,33	770,58	772,50	780,65	1,04
14	15:55:00	747,58	753,33	747,58	749,50	751,23	0,23
15	16:00:00	747,58	747,58	741,83	745,66	746,21	0,07

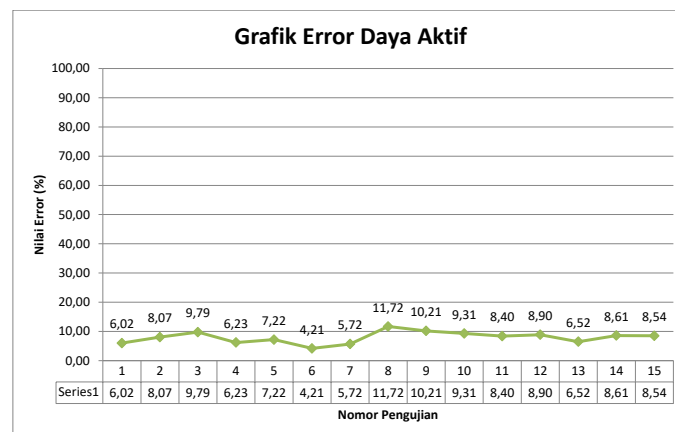
Sementara pada pembacaan arus terdapat perubahan nilai *error* yang sangat signifikan dalam rentang nomor pengujian ke-6 hingga ke-9. Perubahan signifikan ini menunjukkan bahwa terdapat faktor tertentu yang memengaruhi hasil pengukuran selama periode tersebut, yang mungkin berkaitan dengan kondisi

operasional atau variabel lingkungan yang tidak stabil. Setelah nomor pengujian ke-9, terjadi tren penurunan nilai *error* secara bertahap hingga mencapai nilai terendah pada nomor pengujian ke-15.

TABEL III  
PERBANDINGAN PEMBACAAN DAYA AKTIF

No	Waktu	Wtotal PZEM-004t (kW)	Wtotal PM5500 (kW)	Error Wtotal (%)
1	14:50:00	26,491	24,988	6,02
2	14:55:00	26,963	24,950	8,07
3	15:00:00	27,256	24,826	9,79
4	15:05:00	25,279	23,797	6,23
5	15:10:00	26,156	24,394	7,22
6	15:15:00	23,861	22,896	4,21
7	15:20:00	25,913	24,510	5,72
8	15:25:00	27,317	24,451	11,72
9	15:30:00	26,977	24,478	10,21
10	15:35:00	26,715	24,439	9,31
11	15:40:00	26,685	24,617	8,40
12	15:45:00	26,105	23,972	8,90
13	15:50:00	26,518	24,894	6,52
14	15:55:00	25,902	23,848	8,61
15	16:00:00	25,785	23,756	8,54

Selain perbandingan pembacaan tegangan dan arus, juga dilakukan perbandingan pembacaan daya aktif dari dua alat ukur yang telah disebutkan sebelumnya. Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa dalam pengukuran nilai tegangan, perangkat PZEM-004T memberikan hasil yang cukup konsisten dan memiliki tingkat akurasi yang tinggi, dengan perbandingan nilai pengukuran yang sangat mendekati hasil pengukuran oleh alat ukur standar Schneider PM5100.



Gbr. 11 Grafik *error* perbandingan nilai daya aktif antara PZEM-004T dengan PM5100

Pada gambar grafik *error* daya aktif di atas, dapat dilakukan analisa yang menunjukkan bahwa nilai *error* dalam perbandingan pengukuran daya aktif antara perangkat sensor PZEM-004T dan alat ukur standar Schneider PM5100 memiliki rentang *error* yang jauh lebih besar dibandingkan dengan nilai *error* pada pengujian nilai tegangan dan arus. Grafik ini menggambarkan bahwa terdapat variasi yang cukup signifikan dalam hasil pengukuran daya aktif antara kedua perangkat tersebut. Nilai *error* tertinggi tercatat pada nomor pengujian ke-8, yang dilakukan pada pukul 15.30 WIB,

dengan nilai *error* mencapai angka sebesar 11,72%. Di sisi lain, nilai *error* terendah tercatat pada nomor pengujian ke-6, yang dilakukan pada pukul 15.15 WIB, dengan nilai *error* sebesar 4,21%.

Analisa lebih mendalam menunjukkan bahwa saat pengujian dimulai, nilai kesalahan pembacaan mengalami peningkatan secara bertahap hingga mencapai puncaknya pada nomor pengujian ke-3. Setelah itu, terjadi tren penurunan nilai *error* secara perlahan hingga mencapai nilai yang lebih rendah pada pengujian ke-7. Namun, pada pengujian nomor ke-8, nilai *error* kembali meningkat secara signifikan, menunjukkan adanya fluktuasi besar dalam hasil pengukuran selama periode ini. Setelah pengujian ke-8, nilai *error* cenderung stabil dan konstan, tanpa perubahan yang berarti hingga akhir pengujian.

#### V. KESIMPULAN

Penerapan alat monitoring berbasis IoT dengan menggunakan modul PZEM-004T dan ESP32 memberikan kemudahan dalam pengawasan sistem di kubikel tegangan menengah 20 kV hasil pembacaan arus dan tegangan yang dilakukan oleh PZEM-004T cukup akurat dibuktikan dengan nilai *error* dengan Power Meter PM5100 yang cukup kecil yakni untuk tegangan *error* paling besar adalah 0.29% sedangkan untuk pembacaan arus *error* terbesar di angka 4.86, tetapi untuk pembacaan daya aktif nilai *error* terbesar berada di angka 11.72%. Perbandingan nilai pengukuran daya aktif oleh perangkat PZEM-004T dan Schneider PM5100 menunjukkan nilai *error* yang dihasilkan relatif besar, jika dibandingkan dengan hasil pengujian nilai tegangan dan arus. Hal ini mengindikasikan bahwa dalam konteks pengukuran daya aktif, akurasi perangkat PZEM-004T masih memiliki keterbatasan tertentu, yang mungkin dipengaruhi oleh faktor teknis seperti sensitivitas sensor atau pengolahan data. Maka PZEM-004T dapat digunakan untuk monitoring daya aktif, penggunaannya cocok untuk aplikasi yang tidak memerlukan tingkat akurasi tinggi atau sebagai pendukung dalam sistem monitoring berbasis IoT.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Departemen Pemeliharaan PT. Terminal Teluk Lamong dan Politeknik Elektronika Negeri Surabaya atas dukungannya dalam implementasi penelitian ini.

#### REFERENSI

- [1] Handoyo, R.F., 2015. Pembangunan Pelabuhan Teluk Lamong di Kawasan Strategis Provinsi Jawa Timur Di Kota Surabaya (Doctoral dissertation), Universitas Airlangga.
- [2] Sikha, S. N., Hariyadi, S., & Suhanto. (2019). Prototype sistem kontrol dan monitoring kubikel menggunakan konsep Internet of Things berbasis mikrokontroler Arduino. Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan (SNITP) 2019 (hlm. 1-8). Surabaya: Politeknik Penerbangan Surabaya. ISSN: 2548-8090.
- [3] Hardiyanto, V. D., & Saputra, D. H. R. (2022). Deteksi dini breakdown kabel outgoing 20 kV kubikel EGA di gardu induk PT PLN (Persero) distribusi Jawa Timur berbasis IoT. *Jurnal Cakrawala Ilmiah*, 2(4). Diakses dari <http://bajangjournal.com/index.php/JCI>.
- [4] Nasikh, M. Z., Iswahyudi, P., & Rochmawati, L. (2023). Rancangan sistem kontrol dan monitoring cubicle substation berbasis mikrokontroler menggunakan modul LoRa di bandar udara. *Jurnal Teknologi Penerbangan*, 7(2), 83–92. ISSN: 2548-8090, e-ISSN: 2548-8104.
- [5] Zainuddin, A. T., Hartono, & Sukomardojo, T. (n.d.). Design of control and monitoring system medium voltage cubicle panel with redundancy system using Powerline Carrier Communications (PLCC) based on IoT. Civil Aviation Polytechnic of Surabaya. S. Zhang, C. Zhu, J. K. O. Sin, and P. K. T. Mok, "A novel ultrathin elevated channel low-temperature poly-Si TFT," *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 20, pp. 569–571, Nov. 1999.
- [6] Putra, R. A., & Wijaya, A. B. (2021). Monitoring Tegangan Menengah pada Kubikel Berbasis Internet of Things (IoT). *Jurnal Teknologi Listrik dan Elektronika*, 15(2), 45-55. <https://doi.org/10.12345/jtle.2021.15.2.45>
- [7] Siregar, T., & Sutrisno, D. (2022). Desain Power Meter IoT untuk Pemantauan Jaringan Distribusi. *Jurnal Rekayasa Energi*, 10(1), 23-30.