

Rancang Bangun Sistem Pemantauan dan *Forecasting* Konsumsi Energi Listrik Menggunakan *Internet of Things* dan Algoritma *Seasonal Time Series*

Fikri Haykal, Ridho Rahman Hariadi, dan Khakim Ghozali
Departemen Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: ridho@its.ac.id

Abstrak—Bangunan kantor maupun gedung kampus seperti di Institut Teknologi Sepuluh Nopember menggunakan energi listrik yang tentunya tidak sedikit. Setiap gedung memiliki banyak sumber listrik sehingga sulit untuk memantau konsumsi energi listrik secara mendetail yang bisa saja menyebabkan pemborosan konsumsi energi listrik. Pengembangan sebuah sistem monitoring akan membantu untuk memudahkan pemantauan konsumsi energi listrik. Implementasi sistem bisa disesuaikan dengan titik mana saja maupun perangkat apa saja yang akan dipantau. Dalam pengembangannya, dibuat juga sebuah sistem forecasting yang memungkinkan untuk memprediksi konsumsi listrik selama 30 hari kedepannya. Sistem deteksi anomali tentunya akan membantu proses penghematan konsumsi listrik dengan memberi notifikasi apabila suatu titik menggunakan daya yang tidak semestinya. Penggunaan prinsip *Internet of Things* menjadi kunci utama dalam cara kerja alat dalam sistem ini. Platform website digunakan untuk mengembangkan antarmuka utama dari sistem, dan dibangun dengan framework CodeIgniter 4. Algoritma seasonal digunakan untuk melakukan forecasting dan juga akan berguna untuk sistem deteksi anomali. Klasifikasi konsumsi daya dibedakan menjadi tiga, yaitu konsumsi normal, konsumsi tinggi serta konsumsi tidak wajar.

Kata Kunci—Anomaly Detection, Codeigniter 4, Energy Monitoring, PZEM-004t, Seasonal Forecasting, Time Series.

I. PENDAHULUAN

LISTRIK merupakan hal yang tidak bisa dipisahkan dari kehidupan sehari-hari manusia pada masa kini. Hampir setiap aktivitas yang dilakukan dalam keseharian manusia menggunakan perangkat yang menggunakan energi listrik. Seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi, tentu muncul berbagai macam perangkat listrik yang baru. Pada sisi lainnya, tentu gaya hidup manusia pun berubah. Manusia semakin hari semakin menginginkan aktivitas yang lebih mudah dan instan. *Internet of Things* memegang peran penting dalam mendukung tercapainya berbagai kemudahan dan efisiensi proses pada segala bidang kehidupan. Dapat dikatakan bahwa *Internet of Things* merupakan salah satu kunci dari perkembangan teknologi pada masa kini.

Seperti yang kita ketahui, konsumsi energi listrik terus meningkat seiring berjalannya waktu. Tidak dapat dipungkiri bahwa banyak terjadi pemborosan konsumsi energi listrik dalam kehidupan sehari-hari. Beberapa hal yang menyebabkan terjadinya pemborosan konsumsi energi listrik adalah tidak dimatikannya peralatan listrik yang sudah tidak dipakai dan juga pemakaian berbagai peralatan listrik yang berlebihan dalam suatu waktu. Namun hal tersebut juga bisa disebabkan faktor ketidaksengajaan ataupun lupa mematikan

perangkat pada saat pengguna sedang beristirahat maupun berpergian. Akan tetapi, tetap saja pemborosan listrik akan membawa banyak dampak negatif seperti mempercepat pemanasan global, cadangan listrik berkurang serta yang paling terlihat adalah membengkaknya tagihan listrik.

Oleh karena itu, perlu adanya sistem yang akan membantu mengidentifikasi konsumsi energi listrik secara *realtime*. Sistem yang akan dikembangkan berbasis *Internet of Things* dan menggunakan platform web untuk tampilan antarmuka. Sistem dapat mengotomatisasikan pemantauan maupun analisa terhadap konsumsi energi listrik, baik pada perumahan maupun tempat umum seperti gedung kantor dan kampus. Pada sistem tersebut, diharapkan pengguna bisa memantau konsumsi energi dalam suatu waktu secara *realtime*. Sistem juga akan melakukan *forecasting* konsumsi energi listrik kedepannya yang tentu juga akan bermanfaat bagi pengguna. Selain itu, hasil dari *forecasting* juga akan digunakan sebagai data yang diproses untuk deteksi anomali. Dengan diimplementasikan sistem ini, diharapkan terjadinya otomatisasi analisis konsumsi energi listrik yang akan membantu dalam proses peningkatan efisiensi konsumsi energi listrik, khususnya terhadap penggunaannya sendiri.

II. DASAR TEORI

A. Konsumsi Listrik di Indonesia

Pada tahun 2020, Indonesia memiliki jumlah penduduk yang mencapai lebih dari 271 juta jiwa. Produk Domestik Bruto (PDB) pada tahun 2020 mencapai lebih dari 15 ribu triliun rupiah dengan pendapatan perkapitanya sebesar 56 juta rupiah. Tercatat bahwa total konsumsi energi di Indonesia pada tahun 2020 sebesar lebih dari 263 ribu GWh, dimana sektor perumahan menyumbang konsumsi tertinggi sebesar 117 ribu GWh, kemudian dilanjutkan sektor industri sebesar 88 ribu GWh, sektor komersial sebesar 58 ribu GWh, serta sektor transportasi menyumbang konsumsi tertinggi sekitar 292 GWh [1].

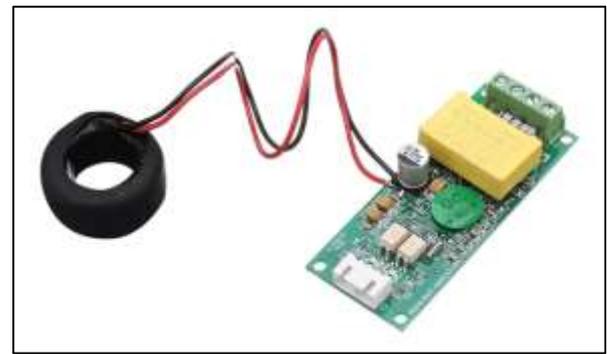
Pada survei yang dilakukan oleh tim LPSOS di seluruh 34 provinsi di Indonesia yang mengunjungi 5.443 rumah tangga, tim LPSOS mewawancarai orang yang memahami penggunaan peralatan rumah tangga dan rata-rata pembayaran listrik bulanan di rumah tangga tersebut. Informasi penting yang dikumpulkan melalui survei ini termasuk kepemilikan peralatan, spesifikasi peralatan, serta waktu dan durasi penggunaan. Survei ini mewakili populasi rumah tangga yang memiliki akses listrik di Indonesia. Jawa memiliki proporsi populasi nasional terbesar (60%), diikuti

Tabel 1.

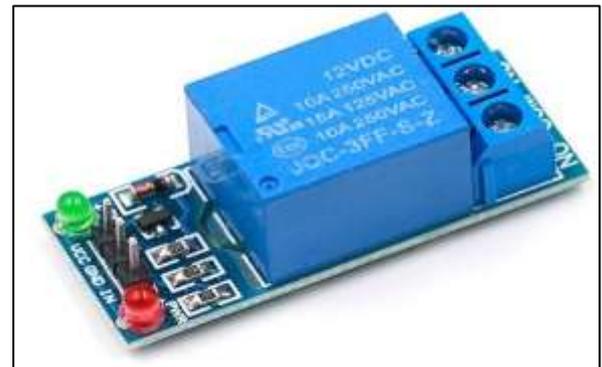
Rekapitulasi perangkat listrik di departemen teknologi informasi ITS			
No	Perangkat Listrik Rumah Tangga	Estimasi Daya (~W)	Jumlah
1	Air Conditioner Besar	1600	11
2	Air Conditioner Kecil	800	6
3	Air Conditioner Lama	800	3
4	Personal Computer	120	56
5	Proyektor	210	5
6	Lampu Neon	28	80
7	Lampu LED Kecil	19	11
8	Kamera CCTV	12	3
9	Speaker Set	30	2
10	TV Lebar	100	2
11	Router D-Link	6	3
12	Router WiFi	5	2
13	Printer	40	2
14	Server Rack	1000	1
15	Teko Listrik	400	1
16	Kipas Angin Kecil	45	1



Gambar 1. Mikrokontroler ESP8266.



Gambar 2. Sensor PZEM-004T.



Gambar 3. Relay 5V.

oleh Sumatera (21%), Kalimantan (6%), Bali dan Nusa Tenggara (5%), Sulawesi (7%), Maluku dan Papua (2%).

B. Penghematan Listrik

Secara umum, konsep penghematan listrik ada dua. Yang pertama yaitu mengganti perangkat listrik yang memiliki penggunaan daya yang rendah dan lebih efisien. Yang kedua adalah dengan mengurangi jumlah jam penggunaan sebuah perangkat listrik. Tentunya tidak semua penghematan perangkat listrik akan membawa dampak besar pada tingkat konsumsi energi listrik. Hal tersebut dikarenakan ada beberapa perangkat listrik yang memang sudah memiliki tingkat konsumsi daya yang kecil, sehingga sebesar apapun upaya kita untuk menghemat perangkat tersebut, tidak akan banyak pengaruhnya terhadap total konsumsi energi listrik.

C. Perangkat Elektrik Departemen Teknologi Informasi ITS

Pada pendataan yang dilakukan pada hari Rabu, 19 Januari 2021 di Departemen Teknologi Informasi, didapatkan data perangkat listrik seperti yang ditunjukkan Tabel 1. Dapat dilihat bahwa *air conditioner* dan juga *personal computer* adalah perangkat listrik di Departemen Teknologi Informasi yang memiliki potensi penggunaan listrik terbesar. Lampu memiliki jumlah yang banyak, namun akumulasi daya dari semua lampu tentu tidak ada bisa dibandingkan dengan daya yang digunakan oleh *air conditioner*. Oleh karena itu penggunaan alat yang memakan daya tinggi seperti *air conditioner* dan *personal computer* perlu diperhatikan.

D. Internet of Things

Internet of Things (IoT) menggambarkan jaringan objek fisik yang disematkan dengan sensor, perangkat lunak, dan teknologi lainnya untuk tujuan menghubungkan dan bertukar data dengan perangkat dan sistem lain melalui internet. Perangkat ini sudah diterapkan mulai dari rumah tangga biasa hingga alat-alat industri yang canggih.

E. Seasonal Forecasting

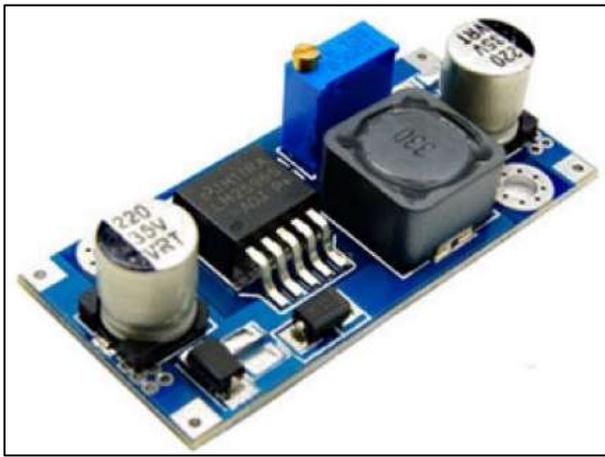
Dalam data *time-series*, *seasonality* mengacu pada adanya variasi yang terjadi pada interval reguler tertentu baik secara mingguan, bulanan, atau bahkan triwulanan (tetapi tidak pernah sampai satu tahun). Berbagai faktor dapat menyebabkan musiman - seperti liburan, cuaca, dan hari libur. Mereka terdiri dari pola berulang, periodik, dan umumnya teratur yang dapat diprediksi dalam tingkat deret waktu.

F. Time Series

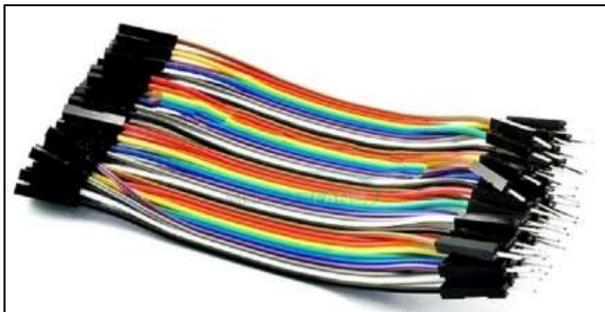
Time Series forecasting sangat umum digunakan pada peramalan di berbagai bidang seperti energi, bisnis maupun lingkungan. Peramalan yang efektif tentunya dapat menghemat banyak waktu dan biaya, memfasilitasi perencanaan, penjadwalan dan aktivitas lainnya. Ada situasi di mana sejumlah data yang memiliki deret waktu atau *time series* perlu dilakukan *forecasting* secara cepat. Seperti pada pengembangan sistem ini yang memerlukan *forecasting* yang cepat dan tepat untuk mengetahui konsumsi energi listrik untuk kedepannya [2].

G. Anomaly Detection

Deteksi anomali adalah teknik untuk menemukan titik atau pola yang tidak biasa dalam suatu himpunan tertentu. Istilah anomali juga disebut sebagai outlier. Sebelumnya, para peneliti data mining fokus pada teknik lain seperti klasifikasi



Gambar 4. Power adaptor.



Gambar 5. Kabel jumper.

dan pengelompokan. Outlier ditemukan sebagai bagian dari proses pembersihan data.

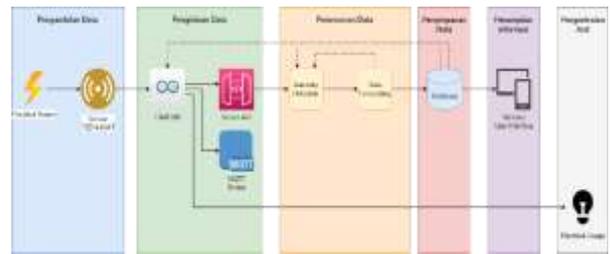
Deteksi anomali mengacu pada masalah menemukan pola dalam data yang tidak sesuai dengan perilaku yang diharapkan. Pola-pola yang tidak sesuai ini sering disebut sebagai anomali, outlier, pengecualian, penyimpangan ataupun sebutan lainnya [3].

H. Perangkat Keras

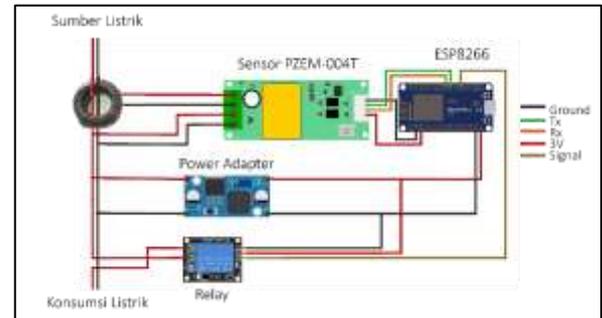
Perangkat keras merupakan sebuah bagian dari sistem computer yang nyata dan bisa diraba secara fisik. Perangkat keras berfungsi sebagai bagian yang akan menjalankan instruksi yang diberikan oleh perangkat lunak. Perangkat keras yang digunakan untuk pengembangan sistem adalah NodeMCU ESP 8266, sensor PZEM-004T serta kabel jumper. Salah satu contoh ESP8266 ditunjukkan oleh Gambar 1. NodeMCU V3 8266 merupakan perangkat mikrokontroler yang berbasis ESP8266 dan memiliki modul WiFi. Perangkat ini dapat diprogram menggunakan perangkat lunak Arduino IDE seperti halnya perangkat Arduino Uno dan sebagainya.

PZEM-004T adalah sebuah modul elektronik yang berfungsi untuk mengukur tegangan, arus, daya, frekuensi, energi dan faktor daya. Dengan kelengkapan fungsi ini, maka modul PZEM-004T sangat ideal untuk digunakan sebagai project maupun eksperimen alat pengukur daya pada sebuah jaringan listrik seperti rumah atau gedung. Modul PZEM-004T diproduksi oleh sebuah perusahaan bernama Peacefair, ada yang model 10A dan 100A. Gambar 2 menunjukkan sebuah sensor PZEM-004T.

Relay adalah perangkat yang digunakan untuk menyambung atau memutuskan sambungan listrik. Relay terdiri dari bagian mekanis yang bergerak secara fleksibel yang dikontrol secara elektronik melalui elektromagnet. Pada



Gambar 6. Alur sistem.



Gambar 6. Desain rangkaian alat.

dasarnya, *relay* seperti sakelar mekanis tetapi dikontrol menggunakan sinyal elektronik dan tidak menyalakan atau mematikkannya secara manual. Gambar 3 menunjukkan sebuah *relay*.

Power adaptor merupakan sebuah alat untuk menyesuaikan tegangan listrik serta mengubah arus AC menjadi DC. Pada sistem yang akan dibuat, adaptor akan digunakan untuk menyuplai daya dari sumber listrik ke ESP8266. Adaptor mengubah tegangan semula 220V menjadi 5V. Gambar 4 menunjukkan sebuah gambaran dari *power adaptor*.

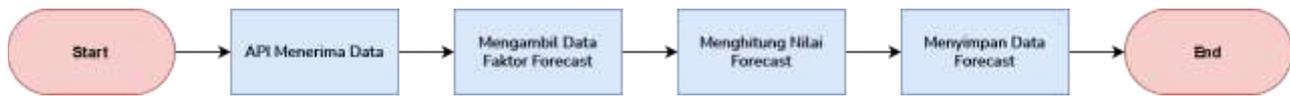
Kabel jumper adalah kabel yang sangat sering digunakan pada pengembangan modul alat berbasis IoT seperti Arduino, Raspberry Pi dan lainnya. Kabel ini biasanya digunakan untuk menghubungkan mikrokontroler tersebut dengan sensor-sensor, relay, maupun perangkat lainnya. Ada 3 jenis kabel jumper, yaitu *male to male*, *male to female* dan *female to female* yang berbeda pada ujung kabelnya. Perbedaan tersebut dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Contoh kabel jumper ditunjukkan oleh Gambar 5.

I. Perangkat Lunak

Perangkat lunak merupakan program yang berisi perintah-perintah atau instruksi-instruksi terkait mengoperasikan sebuah komputer atau perangkat keras terkait. Perangkat lunak yang digunakan untuk pengembangan sistem ini antara lain adalah CodeIgniter 4, MySQL serta Arduino IDE.

CodeIgniter adalah Framework Aplikasi atau sebuah alat untuk membangun situs web menggunakan PHP. Tujuannya adalah untuk memungkinkan pengembangan proyek lebih cepat daripada menulis kode dari awal, dengan menyediakan kumpulan dokumentasi yang lengkap untuk fungsi-fungsi yang umumnya dibutuhkan, serta antarmuka sederhana dan struktur logis untuk mengakses dokumentasi ini. CodeIgniter memungkinkan untuk secara kreatif fokus pada proyek dengan meminimalkan jumlah kode yang dibutuhkan untuk fungsi tertentu.

Sebuah program yang fleksibel dan kuat, MySQL adalah sistem database *open-source* paling populer di dunia. Sebagai bagian dari stack teknologi LAMP yang banyak digunakan



Gambar 8. Flowchart algoritma forecasting.

Tabel 2.
Keterangan rumus perhitungan forecasting

No	Simbol	Keterangan
1	FV	nilai <i>forecast</i>
2	V_b	nilai dasar yang diperoleh dari rata-rata sepanjang waktu
3	V_{hm}	nilai rata-rata dengan jam dan menit yang sama
4	V_{dw}	nilai rata-rata dengan hari yang sama
5	V_{dm}	nilai rata-rata dengan tanggal yang sama
6	V_{dy}	nilai rata-rata dengan urutan tanggal yang sama dalam setahun (0-365)
7	V_{my}	nilai rata-rata dengan bulan yang sama
8	V_{wy}	nilai rata-rata dengan urutan minggu yang sama dalam setahun

Tabel 3.
Keterangan rumus perhitungan akurasi forecasting

No	Simbol	Keterangan
1	$MAPE$	nilai <i>error forecast</i>
2	n	jumlah data <i>forecast</i>
3	A	nilai aktual data
4	F	nilai <i>forecast</i>

Tabel 4.
Klasifikasi data statistik

No	Klasifikasi	Keterangan
1	Penggunaan normal	Merupakan penggunaan biasa yang nilainya sama atau di bawah nilai <i>forecast</i> pada waktu yang sama
2	Penggunaan tinggi	Penggunaan yang nilainya di atas nilai <i>forecast</i> namun masih di rentang atas nilai <i>forecast</i> tersebut
3	Penggunaan abnormal	Penggunaan yang nilainya di atas rentang atas nilai <i>forecast</i> tersebut

(yang terdiri dari sistem operasi berbasis Linux, server web Apache, database MySQL, dan PHP untuk pemrosesan), ini digunakan untuk menyimpan dan mengambil data dalam berbagai macam aplikasi populer, situs web, dan layanan.

Arduino IDE tersedia untuk semua sistem operasi yaitu MAC, Windows, Linux dan berjalan di Platform Java yang dilengkapi dengan fungsi dan perintah bawaan yang memainkan peran penting dalam debugging, pengeditan dan kompilasi kode. Berbagai modul Arduino tersedia termasuk Arduino Uno, Arduino Mega, Arduino Leonardo, Arduino Micro dan banyak lagi. Masing-masing berisi mikrokontroler di papan yang sebenarnya diprogram dan menerima informasi dalam bentuk kode.

III. DESAIN

A. Arsitektur Sistem

Ada beberapa penggunaan teknologi yang dibutuhkan Ada beberapa penggunaan teknologi yang dibutuhkan dalam pengembangan sistem, seperti sensor PZEM-004T. Sensor ini dibutuhkan untuk membaca data konsumsi daya, arus, tegangan, energi, frekuensi serta faktor daya. Setelah semua data didapatkan melalui sensor PZEM-004T, maka dibutuhkan ESP8266 untuk mengirimkan data kepada database website melalui *Application Programming Interface*. Bersamaan dengan itu, ESP8266 juga akan mengirimkan data kepada MQTT Broker dan MQTT Server yang akan bertindak sebagai penyedia *data feed*. Sebuah website tentunya diperlukan sebagai *dashboard* utama pengguna untuk melihat beberapa rangkuman konsumsi energi listrik. Penggunaan algoritma seasonal dibutuhkan

untuk menganalisis data yang dikumpulkan menjadi prediksi atau *forecasting* konsumsi energi listrik kedepannya. Diagram aktivitas secara umum digambarkan oleh Gambar 6.

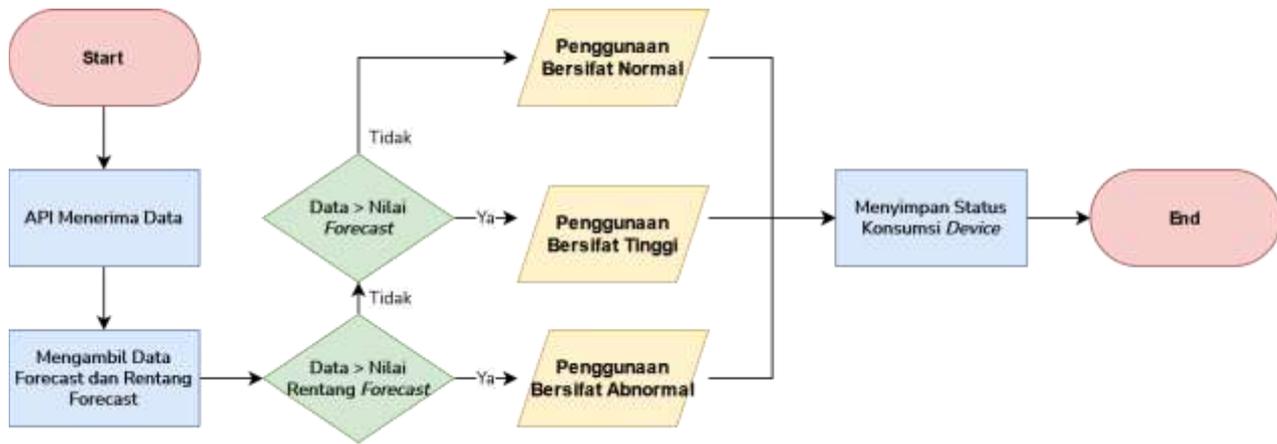
B. Desain Rangkaian Alat

Dapat dilihat pada Gambar 7 bahwa sensor PZEM-004T dihubungkan dengan NodeMCU ESP8266 dengan kabel jumper. Untuk kabel jumper berwarna merah merupakan sumber daya sensor yang dihubungkan dengan pin VU pada ESP8266. Untuk kabel berwarna hitam merupakan kabel Ground yang juga dihubungkan dengan pin G pada ESP8266. Sedangkan untuk kabel berwarna kuning dan biru merupakan kabel Tx dan Rx yang masing-masing dihubungkan dengan pin Tx dan Rx pada ESP8266 yang terletak pada pin D6 dan D5. Selain itu, terdapat *current transformer* pada ujung lain dari sensor PZEM-004T yang mana terdapat 2 pin yang nantinya akan dihubungkan pada sumber daya listrik.

Terdapat sebuah adaptor AC ke DC dengan tegangan 220V menjadi 5V yang digunakan untuk menyuplai daya ke ESP8266 yang tentunya terhubung dengan pin VIN dan G dan juga menyuplai daya yang akan digunakan oleh *relay*. *Relay* digunakan untuk menyalakan dan memutus aliran listrik dan terhubung dengan pin D8 ESP8266 sebagai pemberi sinyal apakah harus menyalakan listrik atau tidak.

C. Algoritma Forecasting

Proses diawali dengan diterimanya sebuah data oleh sistem yang akan memanggil fungsi perhitungan *forecasting*. Sistem lalu akan menyimpan waktu atau *timestamp* pada saat data diterima. Waktu tersebut digunakan sebagai variabel yang akan digunakan saat mengambil data faktor *forecasting*. Faktor *forecasting* sendiri merupakan data-data yang bersifat



Gambar 7. Algoritma deteksi anomali.

Tabel 5.
Rekapitulasi uji coba alat

Kode	Skenario	Terpenuhi	
		Ya	Tidak
UC-101	Membaca konsumsi listrik	✓	
UC-102	Mengirim data ke API	✓	
UC-103	Mengirim data ke MQTT Broker	✓	

Tabel 6.
Rekapitulasi uji coba sistem monitoring

Kode	Skenario	Terpenuhi	
		Ya	Tidak
UC-201	Memantau konsumsi energi listrik	✓	
UC-202	Melakukan filter rentang waktu	✓	

Tabel 7.
Rekapitulasi uji coba sistem forecasting

Kode	Skenario	Terpenuhi	
		Ya	Tidak
UC-301	Memantau forecasting energi listrik	✓	
UC-302	Menghitung tingkat akurasi forecasting	✓	

periodik, misalnya data yang memiliki jam dan menit sama, data dengan hari, minggu, bulan yang sama dan data periodik lainnya. *Flowchart* algoritma forecasting ditunjukkan pada Gambar 8.

Selanjutnya perhitungan akan dilakukan sebanyak 30 kali dengan maksud menghitung nilai *forecast* pada 30 hari kedepannya pada jam dan menit yang sama. Jika sebelumnya sudah ada data pada waktu tersebut, maka data akan diperbarui atau dimutakhirkan. Jika memang belum ada, maka sebuah data baru akan disimpan pada basis data. Data hasil forecasting bersifat pasif dan hanya akan ditampilkan sesuai dengan permintaan oleh pengguna.

D. Rumus Perhitungan Forecasting

Rumus forecasting menggunakan nilai dasar dan nilai faktor. Nilai faktor forecast hanya digunakan untuk setiap device yang sama nomor identitasnya. Rumus ini berlaku untuk semua atribut statistik, baik daya, energi, tegangan, arus, factor daya maupun frekuensi. Berikut merupakan rumus beserta keterangan yang digunakan pada sistem forecasting yang ditunjukkan pada Tabel 2.

$$FV = \frac{V_{hm} * V_{dw} * V_{dm} * V_{dy} * V_{my} * V_{wy}}{V_b^5}$$

E. Rumus Perhitungan Akurasi Forecasting

Rumus forecasting menggunakan selisih dari nilai data power yang bersifat mentah dengan nilai hasil forecasting.

Rumus yang digunakan untuk menghitung akurasi forecasting adalah metode MAPE atau *Mean Absolute Percentage Error*. Berikut merupakan rumus beserta keterangan yang digunakan untuk menghitung akurasi pada sistem forecasting yang ditunjukkan pada Tabel 3.

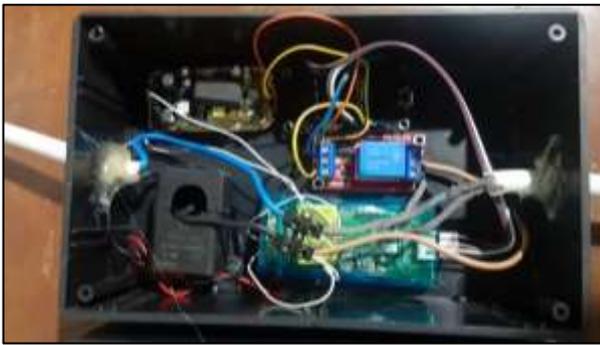
$$MAPE = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|$$

F. Algoritma Deteksi Anomali

Pada pertama kali data diterima, maka sistem akan mengambil nilai forecast dan nilai rentang atas forecast dengan nomor identitas device yang sama pada database. Setelah nilai tersebut didapatkan, maka tahap selanjutnya adalah mengklasifikasikan data tersebut sesuai klasifikasi data. Setelah data berhasil diklasifikasikan, maka sistem akan mengambil keputusan, data tersebut diklasifikasikan apakah penggunaan normal, penggunaan tinggi atau penggunaan abnormal. Setelah ditetapkan klasifikasinya, lalu sistem akan mengupdate status device sesuai dengan klasifikasi tersebut. *Flowchart* algoritma deteksi anomali ditunjukkan pada Gambar 9.

G. Klasifikasi Data Statistik

Pada sistem yang akan dibuat, data konsumsi energi listrik akan diklasifikasikan menjadi 3, yaitu penggunaan normal, penggunaan tinggi serta penggunaan abnormal. Perlu diketahui bahwa nilai forecast nantinya memiliki rentang atas



Gambar 8. Implementasi alat.



Gambar 9. Arsitektur basis data.

yang akan digunakan sebagai faktor klasifikasi data statistik. Nilai rentang atas bersifat dinamis dan didapatkan dari rata-rata selisih nilai statistik asli dengan nilai *forecast* sepanjang waktu dengan *device* yang sama. Terkait detail klasifikasi data tersebut akan dijelaskan pada Tabel 4.

IV. IMPLEMENTASI

A. Implementasi Alat

Setelah alat selesai dirangkai dan diprogram menggunakan kode yang tertera, langkah terakhir dari implementasi alat adalah memasang alat tersebut pada sumber listrik. Untuk daya yang digunakan dan terhubung langsung pada ESP8266, bisa menggunakan daya dari mana saja, tidak harus langsung dari sumber listrik utama. Berikut merupakan Gambar 10 yang menunjukkan modul alat yang telah dirangkai.

B. Implementasi Basis Data

Basis data diimplementasikan sesuai dengan rancangan yang telah dibuat pada server MySQL. Terdapat 10 tabel yang digunakan untuk menyimpan data sesuai dengan entitas masing- masing. Berikut merupakan implementasi basis data yang ditunjukkan oleh Gambar 11.

C. Implementasi Fungsi

Implementasi rancangan kebutuhan fungsional dibuat menggunakan prinsip *Model, View* dan *Controller* pada *framework* CodeIgniter 4. Pada kelas *controller* dibuat beberapa fungsi untuk menangani permintaan seperti *create, read, update* serta *delete*. Setiap entitas akan dibuatkan

```

1.  foreach
    ($forecastFactor['total_average'] as
    $key => $value) {
2.
3.      if (($key != 'id_device') && ($key
        != 'attempt') && ($key != 'power_gap'))
        {
4.          foreach ($forecastFactor as
            $factor => $facVal) {
5.              $value = $value *
                $forecastFactor[$factor][$key] /
                $forecastFactor['total_average'][$key];
6.          }
7.          $forecast[$key] = $value;
    
```

Gambar 12. Kode sumber 1 implementasi algoritma sistem forecasting.

```

1.  $powerGapMean = 1.5 * ($this->
    >statisticModel->
    >getPowerGapMean($idDevice)['power_gap_mea
    n']);
2.
3.  if ($this->forecastModel->
    >checkForecast($idDevice, $now->format("Y-
    m-d H:i:s")) > 0) {
4.      $fPower = $this->forecastModel->
    >getForecast($idDevice, $now->format("Y-m-
    d H:i:s"))['power'];
5.      $data['power_gap'] = $data['power'] -
    $fPower;
6.
7.      if ($data['power_gap'] > 0) {
8.          if ($data['power_gap'] >
    $powerGapMean) {
9.              $data['consumption'] = 2;
10.         } else {
11.             $data['consumption'] = 1;
12.         }
13.         $data['consumption'] = 0;
14.     }
15. }
16. }
    
```

Gambar 13. Kode sumber 2 implementasi algoritma deteksi anomali.

sebuah file dengan format PHP untuk mengelompokkan fungsi-fungsi mereka. Pada umumnya fungsi-fungsi tersebut memiliki tujuan untuk mengambil data dari *model*, mengolah perhitungan data, menampilkan data ke sebuah halaman dan yang tak kalah penting adalah memerintah untuk mengelola basis data pada *model*.

Pada kelas *model* dibuat beberapa fungsi yang langsung berhubungan dengan basis data dan dikendalikan atau dipanggil oleh fungsi-fungsi yang ada pada kelas *controller*. Setiap entitas akan memiliki sebuah file dengan format PHP untuk menangani tabel dengan entitas yang sama.

D. Implementasi Forecasting

Gambar 12 merupakan potongan kode sumber implementasi dari algoritma perhitungan *forecasting*. Algoritma diimplementasikan menggunakan bahasa PHP dikarenakan sistem *forecasting* masih terintegrasi pada website.

E. Implementasi Deteksi Anomali

Pengimplementasian sistem deteksi anomali berdasarkan rancangan yang telah dibuat. Implementasi sistem deteksi anomali akan ditunjukkan oleh Kode Sumber 2 tertera pada Gambar 13.



Gambar 14. Contoh implementasi antarmuka.



Gambar 105. Alat terpasang pada AC barat laboratorium KCKS.

Tabel 8.

Rekapitulasi uji coba sistem deteksi anomali

Kode	Skenario	Terpenuhi	
		Ya	Tidak
UC-401	Melakukan deteksi anomali	✓	
UC-402	Menampilkan status <i>device</i> saat ini	✓	

Tabel 9.

Rekapitulasi uji coba performa

Kode	Skenario	Terpenuhi	
		Ya	Tidak
UC-501	Pengiriman data dari alat ke server API	✓	
UC-502	Kontrol alat untuk menyalakan dan mematikan listrik	✓	

F. Implementasi Antarmuka

Pengimplementasian antarmuka berdasarkan rancangan dan desain yang telah dibuat. Implementasi antarmuka pengguna berbasis web menggunakan HTML, CSS, JavaScript, dan dibangun menggunakan *framework* CodeIgniter 4. Implementasi antarmuka halaman statistik dan *forecast* yang ditunjukkan oleh Gambar 14 akan dijadikan contoh.

V. UJI COBA DAN ANALISIS

Pada bab ini dijelaskan tentang uji coba dan evaluasi dari implementasi yang telah dilakukan pada penelitian ini. Pada uji coba Tugas Akhir ini, alat dilakukan pemasangan pada 3 titik sumber listrik, yaitu 2 pada sumber listrik *air conditioner* pada ruang Laboratorium KCKS dan 1 titik pada sumber listrik *personal computer* yang juga terletak pada

Laboratorium KCKS. Pemasangan alat dilakukan pada tanggal 30 Januari 2022 dan alat mulai berjalan dengan baik pada tanggal 31 Januari 2022. Gambar 15 merupakan alat yang terpasang pada *air conditioner* sebelah timur pada Laboratorium KCKS.

Daftar rekapitulasi pengujian yang dilakukan akan dibagi menjadi uji coba alat, uji coba kebutuhan fungsional, uji coba sistem monitoring, uji coba sistem *forecasting* serta uji coba sistem deteksi anomali yang ditunjukkan pada Tabel 5, Tabel 6, Tabel 7, Tabel 8, dan Tabel 9.

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan penjabaran di subbab-subbab sebelumnya dari hasil uji coba yang dilakukan, dapat disimpulkan beberapa poin terkait.

Pemantauan tingkat konsumsi energi listrik secara *realtime* dapat dilakukan dengan memasang modul alat pada bangunan maupun sektor yang terintegrasi dengan sistem berbasis website yang telah dikembangkan. Alat mampu mengirimkan data dengan rata-rata waktu sekitar **3,72** detik. Pengguna yang memiliki hak akses dapat memantau tingkat konsumsi energi listrik secara *realtime* dengan rata-rata waktu *loading* selama **6,18** detik.

Forecasting konsumsi energi listrik pada waktu mendatang dapat direalisasikan menggunakan algoritma *seasonal* yang menggunakan data konsumsi energi listrik pada waktu sebelum-sebelumnya dengan tingkat akurasi sebesar **80,86%**, yang didapat menggunakan *mean absolute percentage error*.

Konsumsi energi listrik yang tidak wajar dapat dideteksi secara *realtime* menggunakan klasifikasi data berdasarkan hasil dari sistem *forecasting*. Klasifikasi data dibagi menjadi 3, yaitu konsumsi bersifat **normal**, konsumsi bersifat **tinggi**, dan konsumsi bersifat **tidak wajar**.

Sistem yang telah dikembangkan mempunyai peran terhadap penghematan konsumsi energi listrik dengan fitur yang dapat mengontrol alat yang terpasang pada perangkat maupun sumber listrik. Fitur kontrol alat dapat memutus dan menyambung aliran listrik, serta mempunyai tingkat keberhasilan **100%** pada saat dilakukan uji coba.

Beberapa saran yang dapat diberikan kepada penulis terkait penelitian ini adalah meliputi sebagai berikut: (1)Memperbanyak uji performa alat dan sistem supaya lebih dari 50 kali percobaan; (2)Mengembangkan fitur perhitungan prediksi biaya konsumsi energi listrik; (3)Mengembangkan *dashboard* pada platform lain seperti *mobile app*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ESDM, *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2021.
- [2] F. Martínez, F. Charte, M. P. Frías, and A. M. Martínez-Rodríguez, "Strategies for time series forecasting with generalized regression neural," *Neurocomputing*, 2021, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2021.12.028>.
- [3] H. Belyadi and A. Haghghat, *Machine Learning Guide for Oil and Gas Using Python: A Step-by-Step Breakdown with Data, Algorithms, Codes, and Applications*. New Jersey: Gulf Professional Publishing, 2021, ISBN: 978-012-821929-4.