

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sejak Michael Faraday memperkenalkan dinamo listrik pada tahun 1831, energi listrik menjadi bagian tak terpisahkan dari kehidupan manusia. Dengan kebutuhan listrik yang semakin meningkat, maka energi fosil yang digunakan untuk menghasilkan listrik menjadi terbatas dan menipis. Sehingga dibutuhkan sebuah solusi untuk menggantikan energi fosil yang semakin hari semakin menipis (Wahid et al., n.d.). Energi matahari mempunyai potensi yang besar untuk dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energi terbarukan. Potensi tersebut dapat dilihat dari tersedianya energi matahari setiap hari sepanjang tahun di daerah iklim tropis seperti Indonesia yang dilewati oleh garis khatulistiwa (Adi Widodo, n.d.).

Pertumbuhan konsumsi listrik dari tahun ke tahun terus meningkat, penyebabnya adalah meningkatnya pertumbuhan pembangunan industri, gedung-gedung, perumahan, tekstik, dan lain sebagainya. Hal ini menyebabkan permintaan daya listrik terus meningkat setiap tahunnya. Sedangkan daya yang dihasilkan tidak sebanding dengan permintaan daya yang terus bertambah. Untuk mengimbangi itu semua, sumber energi terbarukan menjadi pilihan utama sebagai alternatif dari sumber energi utama dari jaringan PLN. Salah satunya yaitu pembangkit listrik tenaga surya (PLTS), pembangkit listrik yang menggunakan panel surya (photovoltaic) ini menghasilkan listrik yang ramah lingkungan dan bebas emisi dengan memanfaatkan sinar matahari (Khairunnisa, 2020).

Sinar matahari merupakan sebuah energi panas yang dihasilkan oleh radiasi matahari, dengan adanya panas matahari maka dapat dimanfaatkan untuk sebuah energi alternatif yang nantinya akan dikonversi melalui panel surya (photovoltaic). Teknologi photovoltaic adalah inti dari pembangkit listrik tenaga surya yang terbuat dari bahan

kristal silicon yang secara langsung dapat merubah energi surya menjadi arus listrik.

PLTS sendiri ada berbagai macam tipe, yaitu off grid, on grid dan hybrid. Umumnya di perkotaan, khususnya komersil banyak menggunakan pembangkit PV tipe on grid, sistem ini berhubungan langsung dengan jaringan listrik PLN tanpa adanya cadangan sumber energi lainnya. Dengan adanya sistem ini dapat mengurangi tagihan listrik rumah tangga, dan memberikan nilai tambah pada pemiliknya, dan pemanfaatan energi dari panel surya ini dapat membantu memaksimalkan energi listrik. Hanya saja, salah satu kelemahan dari teknologi pembangkit listrik tenaga surya sangat bergantung dengan kondisi cuaca yang ada, karena sifatnya yang *intermittent* dan tidak pasti sehingga diperlukan adanya sebuah sistem yang dapat melakukan prediksi terkait jumlah energi listrik yang dihasilkan (Khairunnisa, 2020).

Seiring perkembangan zaman, maka teknologi semakin berkembang, hingga kita mengenal teknologi yang bernama Kecerdasan Buatan. Kecerdasan buatan adalah bidang ilmu komputer yang dikhususkan untuk memecahkan masalah kognitif yang umumnya terkait dengan kecerdasan manusia seperti pembelajaran, pemecahan masalah, dan pengenalan pola. Kecerdasan buatan memungkinkan mesin untuk belajar dari pelayanan yang ada, menyesuaikan input-input yang ada dan melaksanakan tugas-tugas yang ada. Dengan menggunakan teknologi ini, komputer dapat dilatih untuk menyelesaikan tugas-tugas tertentu dengan memproses sejumlah data dan mengenali pola dalam data yang sudah diberikan. Saat ini kita mengenal cloud platform pembelajaran mesin untuk edge system sehingga kita dapat membuat sebuah model pembelajaran untuk selanjutnya melakukan sebuah prediksi. Salah satu cloud platform yang dapat digunakan adalah Edge Impulse

Oleh karena itu, penulis mengangkat penelitian dengan judul “**Prediksi Hasil Arus Keluar Pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Edge Impulse**”.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka rumusan penulisan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh temperatur panel surya dan intensitas cahaya terhadap hasil arus yang dikeluarkan?
2. Bagaimana penerapan model yang dibuat di Edge Impulse pada sistem prediksi arus keluar pada pembangkit listrik tenaga surya?
3. Bagaimana keandalan model yang dibuat menggunakan Edge Impulse dalam melakukan prediksi terhadap arus keluar pada pembangkit listrik tenaga surya?

1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh temperatur panel surya dan intensitas cahaya terhadap hasil arus yang dikeluarkan.
2. Merancang model untuk melakukan prediksi arus keluar pada pembangkit listrik tenaga surya menggunakan Edge Impulse.
3. Mengetahui keandalan model yang digunakan di dalam melakukan prediksi arus keluar pada pembangkit listrik tenaga surya.

1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan

Dengan diangkatnya penelitian ini sebagai penelitian penulis, penulis berharap penelitian ini dapat memiliki manfaat antara lain :

1. Meningkatkan pemanfaatan sinar matahari sebagai salah satu sumber energi listrik
2. Menjadi referensi bagi peneliti mendatang apabila akan melakukan penelitian dengan tema terkait

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Parameter yang digunakan dalam melakukan prediksi adalah suhu panel, temperatur modul/sensor, dan intensitas cahaya yang diterima.
2. Edge impluse digunakan untuk memprediksi arus keluaran pada PLTS.

1.6 Teori

1.6.1. Internet of Things

Internet of things atau bisa disebut juga dengan IoT adalah sebuah teknologi canggih yang memiliki konsep yang bertujuan untuk memperluas dan memperkembang manfaat dari konektivitas internet yang tersambung terus menerus. Menghubungkan benda di sekitar agar aktivitas sehari-hari menjadi lebih mudah dan efisien yang sangat membantu segala pekerjaan manusia. Pentingnya internet of things dapat dilihat dengan semakin banyaknya diterapkan dalam berbagai kehidupan saat ini. Menurut metode identifikasi RFID (*Radio Frequency Identification*), istilah IoT tergolong dalam metode komunikasi, meskipun IoT juga dapat mencakup teknologi sensor lainnya, teknologi nirkabel atau kode QR (*Quick Response*).

Istilah *Internet of Things* terdiri dari dua bagian kata utama yaitu *Internet* yang menghubungkan dan mengatur sebuah konektivitas dan *Things* yang memiliki arti objek atau sebuah perangkat. Sederhananya, kamu memiliki *Things* yang dapat saling terhubung untuk mengumpulkan data dan mengirimkannya ke Internet. Data ini juga dapat diakses oleh *Things* lainnya. dimana sebuah *Things* tertentu memiliki kemampuan untuk mengirimkan data melalui jaringan dimanapun kamu berada dan tanpa adanya interaksi dari manusia ke manusia ataupun dari manusia ke perangkat komputer. Penerapan IoT biasanya melibatkan penggunaan teknologi seperti sensor untuk mengumpulkan data, dan perangkat lunak untuk mengolah dan menyampaikan data tersebut. Teknologi ini harus dapat berinteraksi dengan perangkat lain dan dengan internet untuk mengirim dan

menerima data. Pada dasarnya, IoT mengacu pada benda yang dapat diidentifikasi secara unik sebagai representasi virtual dalam struktur berbasis internet. Contohnya bahan pangan, elektronik, koleksi, peralatan apa saja, termasuk benda hidup yang semuanya tersambung ke jaringan lokal dan global melalui sensor yang tertanam dan selalu aktif.

Di awal abad ke-21, istilah *internet of things* mulai digunakan secara luas oleh perusahaan seperti The Guardian, Forbes, dan Boston Globe. Minat terhadap teknologi IoT terus meningkat, yang mengarah pada Konferensi Internasional Pertama tentang Internet of Things yang diadakan di Swiss pada tahun 2008, di mana peserta dari 23 negara membahas RFID, short-range wireless communications dan sensor networks. Dengan perkembangan IoT pada tahun itu ada beberapa contoh IoT yaitu salah satunya lemari es/kulkas yang terhubung ke internet yang diperkenalkan oleh LG Electronics pada tahun 2000, memungkinkan penggunaanya untuk berbelanja online dan melakukan panggilan video. Contoh Perkembangan penting lainnya adalah robot kecil berbentuk kelinci bernama Nabaztag yang dibuat pada tahun 2005 yang mampu menyampaikan berita terbaru, ramalan cuaca, dan perubahan pasar saham. IoT memberikan banyak manfaat positif di bidang apapun, termasuk efektivitas perangkat dalam bekerja dan keefisienan jaringan yang saling terhubung. Untuk kedepannya, IoT akan terus berkembang dan mempermudah segala aspek kehidupan untuk membantu manusia (Selay et al., 2022). Beberapa contoh Internet of Things:

1. Rumah Pintar/Smart Home

Smart home salah satu contoh IOT yang menghubungkan perangkat elektronik, seperti lampu, kipas angin, AC, dan perangkat lainnya yang menghubungkan ke internet. Penghubungan ini memudahkan pengoprasian perangkat tersebut dari jarak jauh,

dengan adanya teknologi IOT kita bisa mematikan lampu ketika sedang di luar rumah.

2. E – Tilang

Atau tilang elektronik yang dimana ini baru saja dilakukan oleh kepolisian republik indonesia, yang memungkinkan data terkait pelanggaran lalu lintas tidak harus diperoleh dengan mendatangi server data kamera pemantau. Karena telah terkoneksi dengan pusat data di kantor polisi melalui jaringan internet of things, maka polisi sudah dapat mengidentifikasi pelaku secara langsung.

3. Jakarta One Card

Dimana warga jakarta bisa menggunakan satu kartu bisa beragam fungsi dalam kehidupan sehari-hari dan sangat membantu manusia. Contohnya yaitu untuk berbelanja, BPJS, bahkan E-KTP dan kartu ini sudah terkoneksi dalam 3 jaringan yang berbeda.

4. Lampu rambu lalu lintas

Fasilitas umum yang sering ditemui ini mengatur sistem navigasi berdasarkan waktu. Petugas biasanya telah mengatur waktu sehingga peralihan antar lampu merah – kuning – hijau dapat terjadi secara otomatis sesuai jadwalnya.

1.6.2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya / Solar Photovoltaic (PV) System

Pembangkit listrik tenaga surya adalah pembangkit listrik yang mengubah energi surya menjadi energi listrik. Pembangkitan listrik bisa dilakukan dengan dua cara, yaitu secara langsung menggunakan fotovoltaik dan secara tidak langsung dengan pemusatan energi surya. Fotovoltaik mengubah secara langsung energi cahaya menjadi listrik menggunakan efek fotoelektrik.

Sel surya adalah suatu elemen aktif yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm, yang terbuat dari irisan bahan

semikonduktor dengan kutub positif dan kutub negative. Prinsip dasar pembuatan sel surya adalah memanfaatkan efek fotovoltaiik, yaitu suatu efek yang dapat mengubah langsung cahaya matahari menjadi energi listrik. Prinsip ini pertama kali diketemukan oleh **Bacquere**, seorang ahli fisika berkebangsaan Perancis tahun 1839. Apabila sebuah logam dikenai suatu cahaya dalam bentuk foton dengan frekuensi tertentu, maka energi kinetik dari foton akan menembak ke atom-atom logam tersebut. Atom logam yang iradiasi akan melepaskan elektron-elektronnya. Elektron-elektron bebas inilah yang mengalirkan arus dengan jumlah tertentu. Sel surya adalah semikonduktor dimana radiasi surya langsung diubah menjadi energi listrik. Material yang sering digunakan untuk membuat sel surya adalah silikon kristal. Pada saat ini silikon merupakan bahan yang banyak digunakan untuk pembuatan sel surya. Agar dapat digunakan sebagai bahan sel surya, silikon dimurnikan hingga satu tingkat yang tinggi.

Prinsip kerja dari PLTS yaitu energi surya diserap oleh sel surya yang masuk kedalam solar sel, energi yang diserap sel surya menghasilkan keluaran tegangan DC output Positif (+) dan Negatif (-) dikontrol melalui solar charge controller adalah komponen yang berfungsi mengisi baterai/Charging mode dan menjaga pengisian baterai saat baterai accu penuh, kegunaan lain dalam operation mode penggunaan baterai beban dapat melakukan pemutusan beban saat baterai sudah mulai kosong, dari solar charging controller menuju ke baterai yang berguna menyimpan energi dari sel surya yang berupa tegangan maupun arus yang dihasilkan, baterai accu sebagai sumber utama untuk mensupplay ke lampu penerangan, karena penerangan membutuhkan tegangan 220 volt maka dibutuhkan inverter untuk menaikkan tegangan 24 volt DC ke 220 volt AC (Budianto Tri, n.d.).

Pembangkit Listrik Tenaga Surya melibatkan pembangkitan listrik dari energi matahari yang bebas dan tidak ada habisnya. Keuntungan utama dari sistem PV adalah:

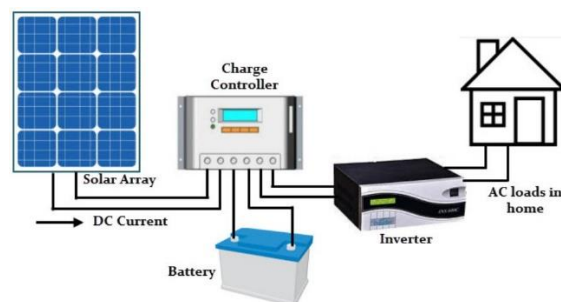
- Sifat berkelanjutan dari energi surya sebagai bahan bakar
- Pengaruh ke dampak lingkungan sedikit
- Pengurangan secara signifikan pada tagihan pelanggan, karena ketersediaan sinar matahari
- Umur dari modul PV lebih kurang 30 tahun dengan pemeliharaan minimum, dan
- *Silent operation*

Besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya berbeda-beda tergantung dari jumlah sel surya yang dikombinasikan didalam panel surya tersebut. Keluaran dari panel surya ini adalah berupa listrik arus searah (DC) yang besar tegangan keluarannya tergantung dengan jumlah sel surya yang dipasang didalam panel surya dan banyaknya sinar matahari yang menyinari panel surya tersebut.

Sistem pembangkit listrik tenaga surya terbagi menjadi off-grid dan on-grid:

1) Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid

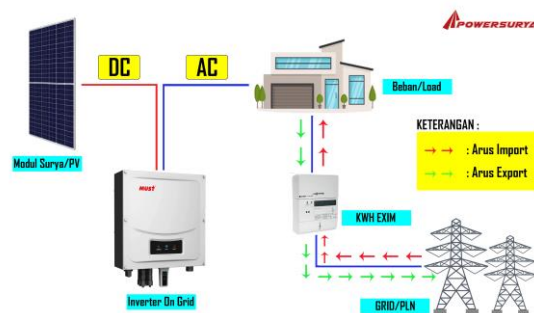
PLTS off-grid yang dikelola secara komunal atau yang dikenal sering disebut dengan sistem PLTS mandiri (stand-alone) atau tidak terhubung dengan sumber listrik yang sudah ada, beroperasi secara independen tanpa terhubung dengan jaringan PLN. Sistem ini membutuhkan baterai untuk penyimpanan energi listrik yang dihasilkan di siang hari untuk memenuhi kebutuhan listrik di malam hari seperti dapat dilihat pada Gambar 1 (Mustaqim, 2022).



Gambar 1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid (Mustaqim, 2022)

2) Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid.

Sistem On-grid adalah sistem yang terhubung langsung dengan jaringan PLN melalui solar inverter yang berskala besar. PLTS akan terhubung dengan jaringan tergantung dari kondisi dari sinar matahari yang mengenai PV modul. Sistem PLTS On-Grid atau biasa disebut PLTS tersambung pada Jaringan artinya sistem PLTS yang produksinya diatas 100 kWp. Instalasi sistem On-grid ini biasanya bersifat Independent Power Producer (IPP) dimana sistem penjualanya langsung ke PLN 24 jam berdasarkan feed-in tarif. Sesuai dengan Peraturan Menteri ESDM Nomor 26 Tahun 2021 tentang PLTS Atap yang terhubung pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang IUPTL untuk Kepentingan Umum. Daya akan masuk ke jaringan PLN selama jaringan memadai seperti pada Gambar 2 (Mustaqim, 2022).



Gambar 2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid (Mustaqim, 2022)

1.6.3. Panel Surya

Panel surya merupakan salah satu alat konversi energi dari energi surya menjadi energi listrik. Keluaran dari panel surya menghasilkan tegangan DC. Daya input dari panel surya adalah intensitas cahaya matahari (W/m^2) dan luas penampang panel surya (m^2) (Darwin et al., 2020). Untuk menentukan daya input panel surya dapat digunakan rumus dari persamaan berikut:

$$P_{in} = I_{rad} \times A$$

Ket: P_{in} = Daya yang masuk pada panel surya (W)

I_{rad} = Intensitas cahaya matahari (W/m^2)

A = Luas Penampang panel surya (m^2)

Sedangkan output dari panel surya adalah arus dan tegangan. Untuk menentukan daya output dari panel surya digunakan rumus dari persamaan berikut:

$$P_{out} = V_{pv} \times I_{pv}$$

Ket: P_{out} = Daya yang keluar pada panel surya (W)

V_{pv} = Tegangan Panel Surya (V)

I_{pv} = Arus Keluar Panel Surya (A)

Daya yang dihasilkan oleh panel surya merupakan hasil akhir dari tahapan - tahapan dalam mengkonversi energi matahari. Energi yang dihasilkan oleh array panel surya dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut:

- Luas dari array panel surya
- Efisiensi konversi dari sebuah modul sel surya
- Lokasi geografis dari tempat pemasangan panel surya
- Sudut kemiringan pemasangan panel surya
- Suhu panel surya saat beroperasi

Adapun jenis panel surya dikelompokkan berdasarkan material sel surya yang menyusunnya. Berikut ini adalah jenis-jenis panel surya:

1. Monokristal

Panel surya jenis monokristal memiliki efisiensi sampai dengan 14-17%. Kelemahan dari panel surya jenis ini adalah efisiensinya akan turun saat cuaca berawan. Berikut ini adalah contoh panel surya jenis monokristal yang ditunjukkan pada gambar 3 (Darwin et al., 2020)



Gambar 3. Panel Surya Monokristal (Darwin et al., 2020)

2. Polikristal

Merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak. Tipe polikristal memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama, akan tetapi dapat menghasilkan listrik pada saat mendung. Panelsurya bermateri polikristal dikembangkan atas alasan mahalnya materi monokristal per kilogram. Efisiensi konversi sel surya jenis polikristal berkisar antara 11,5%-14%. Contoh panel surya jenis polikristal ditunjukkan pada gambar 4 (Darwin et al., 2020)



Gambar 4. Panel Surya Polikristal (Darwin et al., 2020)

3. Thin film solar (TFSC)

Jenis sel surya ini diproduksi dengan cara menambahkan satu atau beberapa lapisan material sel surya yang tipis ke dalam lapisan dasar. Panel surya jenis thin film solar ditunjukkan pada gambar 5 (Darwin et al., 2020)



Gambar 5. Panel Surya Thin Film Solar (Darwin et al., 2020)

1.6.4. Charge Controller (Regulator)

Charge Controller atau Solar charge controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah (DC) yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. Solar charge controller menerapkan teknologi Pulse width modulation (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban. Solar module 12 Volt umumnya memiliki tegangan output 16-21 Volt. Baterai umumnya di charge pada tegangan 14-14.7 Volt (Liestyowati et al., 2022).



Gambar 6. Charge Controller (Liestyowati et al., 2022).

1.6.5. Edge Impulse

Edge Impulse adalah kombinasi perangkat lunak sebagai layanan, alat pengembang, perangkat lunak tertanam, dan dokumentasi untuk membantu tim pengembangan tertanam membuat perangkat lunak

yang memanfaatkan pembelajaran mesin tertanam dalam skala besar. Pada *Edge Impulse: Platform MLOps untuk Pembelajaran Mesin Kecil* pada saat penulisan, *Edge Impulse* digunakan oleh 50.953 pengembang di 118.185 proyek, 3.219 di antaranya telah dipublikasikan; ini digunakan di lebih dari 5500 organisasi perusahaan, tidak termasuk universitas dan lembaga pendidikan lainnya.

Edge Impulse adalah sebuah platform online yang dirancang untuk menyederhanakan proses pengumpulan data, melatih model pembelajaran mendalam, dan menerapkannya ke perangkat komputasi tertanam. *Edge Impulse* menawarkan beberapa fitur teknis utama yang unik. Fitur pertama adalah sistem pengumpulan data yang membantu pengguna mengumpulkan, menyimpan data dan pengujian di samping model dan kode penerapannya. Daripada mengandalkan kumpulan data bawaan atau mengharuskan pengguna membuat teknologi pengumpulan data mereka sendiri, *Edge Impulse* menawarkan berbagai metode untuk mengumpulkan data di lingkungan dunia nyata. Kontribusi kedua adalah memasang ekstraksi fitur pra-pemrosesan dengan pembelajaran mendalam, yang memungkinkan pengguna mengeksplorasi berbagai kemungkinan solusi untuk masalah atau tugas masing-masing. *Edge Optimized Neural (EON) Tuner* membantu tugas ini dengan secara otomatis menjelajahi ruang pencarian yang ditentukan pengguna untuk praprosesor dan model ML. Fitur ketiga adalah perpustakaan inferensi yang dapat diperluas dan portabel yang dapat diterapkan diberbagai sistem edge dan tertanam. Kompiler *EON* menghilangkan overhead yang diperlukan oleh penerjemah *TFLM*, sehingga mengurangi penggunaan *RAM* dan ruang flash yang terbatas. *Edge Impulse* menawarkan kemampuan untuk melakukan berbagai prapemrosesan data sinyal mentah secara otomatis sebelum digunakan dalam pelatihan atau inferensi.

1.6.6. Raspberry Pi

Raspberry Pi adalah komputer papan tunggal (Single Board Circuit atau SBC) yang memiliki ukuran sebesar kartu kredit. Raspberry Pi bisa digunakan untuk berbagai keperluan, seperti spreadsheet, game, bahkan bisa digunakan sebagai media player karena kemampuannya dalam memutar video high definition. Manfaat lainnya adalah bisa dibuat sebuah mini kit yang bisa dijadikan komputer mini. Fungsi OS Raspberry Pi bisa bermacam-macam, salah satunya linux debian yang telah dipaket minikan. Raspberry Pi adalah suatu perangkat minicomputer berukuran sebesar kartu kredit. Raspberry Pi memiliki system Broadcom BCM2835 chip (SoC), yang mencakup ARM1176JZFS 700 MHz processor (firmware termasuk sejumlah mode Turbo sehingga pengguna dapat mencoba overclocking, hingga 1 GHz, tanpa mempengaruhi garansi), VideoCore IV GPU, dan awalnya dikirim dengan 256megabyte RAM, kemudian upgrade ke 512MB. Termasuk built-in hard disk atau solid-state drive, tetapi menggunakan kartu SD untuk booting dan penyimpanan jangka panjang. Sistem operasinya ditanam pada sebuah SD Flash Card, yang menjadikannya sangat mudah untuk diganti dan ditukar. Dan dipasaran ada dua tipe Raspberry Pi yang diketahui pada masyarakat luas salah satunya adalah Tipe elmen 14 dan Tipe RS. Keduanya sama persis, perbedaannya adalah asal pembuatannya. Tipe elmen 14 diproduksi di UK (CMIIW) dan Tipe RS diproduksi di Cina. Dari kedua tipe tersebut ada beberapa fungsi yang dapat terlihat jelas dan sebagai fasilitas di masyarakat luas pada masa ini, seperti WiFi internet radio Player Raspberrycan juga digunakan untuk memainkan musik yang di streaming dari internet radio dan bisa mengatur volume, mengatur list lagu dari handphone (Android, Blackberry). Salah satu kelebihan dari perangkat ini adalah home automation dimana kelebihan ini bisa membuat home automation untuk mengontrol lamp, penyiraman tanam, kipas angin, AC dan bisa diatur baik dari layar LCD maupun handphone. Hal tersebut

memungkinkan perangkat ini digunakan sebagai perangkat pendidikan bagi orang-orang dari segala usia dan tingkat keterampilan. Minat pada perangkat Raspberry Pi sangat luar biasa dan telah jauh melebihi harapan(Desmira et al., n.d.).



Gambar 7. Raspberry Pi (Desmira et al., n.d.)

1.6.7. Arduino Nano

Arduino nano adalah papan kecil papan mikrokontroler *open-source* dan papan tunggal berbasis teknologi *Microchip ATmega328P* yang dirilis pada tahun 2008. Ini menawarkan konektivitas dan spesifikasi papan Arduino Uno yang sama dalam faktor bentuk yang lebih kecil.

Arduino Nano dilengkapi dengan 30 header I/O jantan, dalam konfigurasi seperti DIP-30, yang dapat diprogram menggunakan lingkungan pengembangan terintegrasi Perangkat Lunak Arduino (IDE), yang umum untuk semua papan Arduino dan berjalan baik online maupun luring. Papan dapat ditenagai melalui kabel mini-USB tipe-B atau dari 9 baterai V. Pada tahun 2019, Arduino merilis **Arduino Nano Every**, evolusi Nano yang setara dengan pin. Ini fitur prosesor ATmega4809 yang lebih kuat dan dua kali RAM. Spesifikasi teknis pada arduino nano yaitu:

- Mikrokontroler : Microchip ATmega328P
- Tegangan operasi: 5 volt
- Tegangan input: 5 hingga 20 volt
- Pin I/O digital: 14 (6 output PWM opsional)
- Pin input analog: 8

- DC per pin I/O: 40 mA
- DC untuk pin 3,3 V: 50 mA
- Flash memory: 32 KB, dimana 2 KB digunakan oleh bootloader
- SRAM: 2KB
- EEPROM: 1KB
- Kecepatan jam: 16 MHz
- Panjang: 45 mm
- Lebar: 18 mm
- Massa: 7g
- USB: Mini-USB Tipe-B
- Kepala ICSP: Ya
- Soket Daya DC: Mikro USB DC, Port USB dan pin VIN (+5volt saja)

Daripada memerlukan penekanan fisik tombol reset sebelum mengunggah, Arduino Nano dirancang sedemikian rupa sehingga memungkinkan untuk diatur ulang oleh perangkat lunak yang berjalan pada komputer yang terhubung. Salah satu jalur kontrol aliran perangkat keras (DTR) dari FT232RL terhubung ke jalur reset ATmega328 melalui kapasitor 100 nanofarad. Saat baris ini ditegaskan (diambil rendah), baris reset turun cukup lama untuk mereset chip.

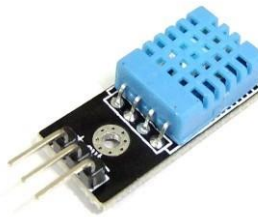
Pengaturan ini memiliki implikasi lain Saat Nano terhubung ke komputer yang menjalankan Mac OS X atau Linux, Nano akan disetel ulang setiap kali koneksi dibuat dari perangkat lunak (melalui USB). Selama sekitar setengah detik berikutnya, bootloader berjalan di Nano. Meskipun diprogram untuk mengabaikan data yang salah bentuk (yakni apapun selain unggahan kode baru), ia akan mencegat beberapa byte pertama dari data yang dikirim ke papan setelah koneksi dibuka.



Gambar 8. Arduino Nano

1.6.8. Sensor DHT-11

Sensor DHT11 adalah sensor dengan kalibrasi sinyal digital yang mampu memberikan informasi suhu dan kelembaban udara. Sensor ini tergolong komponen yang memiliki tingkat stabilitas yang sangat baik serta fitur kalibrasi yang sangat akurat. Koefisien kalibrasi disimpan dalam one timeprogrammable (OTP) program memory, sehingga ketika internal sensor mendeteksi sesuatu, maka module ini menyertakan koefisien tersebut dalam kalkulasinya dengan transmisi sinyal hingga 20 meter, dengan spesifikasi Supply Voltage: +5 V, Temperature range: 0-50 °C error of ± 2 °C, Humidity: 20-90% RH $\pm 5\%$ RH error. Prinsip kerjanya adalah memanfaatkan perubahan kapasitif perubahan posisi bahan dielektrik diantara kedua keping, pergeseran posisi salah satu keping dan luas keping yang berhadapan langsung (Selvia Laurin & Wahyu Wibowo, 2022).



Gambar 9. Sensor DHT-11 (Selvia Laurin & Wahyu Wibowo, 2022).

1.6.9. Sensor Suhu MLX90614

MLX90614 dibangun dari 2 chip yang dikembangkan dan diproduksi oleh Melexis, yaitu Infrared Thermophile Detector MLX81101 dan Pengkondisi sinyal ASSP MLX90302 yang secara khusus di desain untuk memproses keluaran dari sensor infrared. Akurasi yang tinggi dan dari sensor MLX90614 ini dapat dicapai karena memiliki low noise amplifier, ADC 17bit dan unit DSP MLX90302 yang sangat bagus. Suhu

dari objek yang diukur dan suhu lingkungan ada di dalam RAM MLX90302 dengan resolusi 0,01 derajat Celcius. Kedua data suhu tersebut dapat diakses dengan menggunakan TWI dengan resolusi 0,20 derajat Celcius atau dengan melalui output 10-bit PWM dengan resolusi 0,14 derajat Celcius. MLX90614 sudah dikalibrasi dari pabrik dengan pengukuran rentang suhu -40 derajat celcius sampai dengan 125 derajat Celcius untuk suhu lingkungan dan -70 derajat celcius sampai dengan 382,2 derajat Celcius untuk suhu objek yang akan diukur.

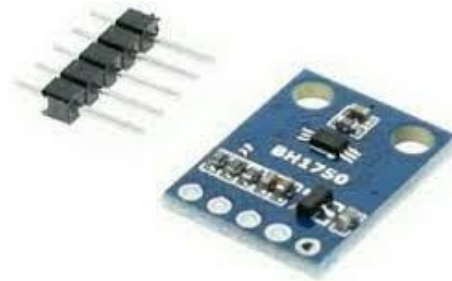


Gambar 10. Sensor Suhu MLX90614

1.6.10. Sensor BH1750

Modul sensor intensitas cahaya BH1750 adalah sensor cahaya digital yang memiliki keluaran sinyal digital, sehingga tidak memerlukan perhitungan yang rumit. Menggunakan komunikasi I2C dengan kemampuan mendeteksi cahaya 1- 65535 lx. Light sensor BH1750 ini lebih akurat dan lebih mudah digunakan jika dibandingkan dengan sensor lain seperti foto diode dan LDR yang memiliki keluaran sinyal analog dan perlu melakukan perhitungan untuk mendapatkan data intensitas. Sensor cahaya digital BH1750 ini dapat melakukan pengukuran dengan keluaran lux (lx) tanpa perlu melakukan

perhitungan terlebih dahulu. Data output dengan sensor ini langsung output di satuan lux (lx) (Felycia, 2020).



Gambar 11. Sensor BH1750 (Felycia, 2020).

1.6.11. Sensor PZEM-017

Modul PZEM-017 adalah modul yang dapat mengukur tegangan, arus, daya dan energi, modul komunikasi DC yang dapat mengukur daya DC hingga 300VDC dan pengukuran arus pada rentang pemasangan shunt eksternal 50A hingga 300A. PZEM-017 adalah modul buatan Peacefair, merek China yang sangat terkenal dengan kualitas dan harga terjangkau dan mengkhususkan diri pada produk Matering(Anshory, 2023).



Gambar 12. Sensor PZEM-017 (Anshory, 2023).

1.6.12. Sensor DS18B20

Sensor suhu DS18B20 berfungsi untuk merubah besaran panas yang di tangkap menjadi besaran tegangan. Jenis sensor suhu yang digunakan dalam sistem ini adalah IC DS18B20, sensor ini memiliki presisi tinggi. Sensor ini sangat sederhana dengan hanya memiliki buah

3 kaki. Kaki pertama IC DS18B20 dihubungkan ke sumber daya, kaki kedua sebagai output dan kaki ketiga dihubungkan ke ground. Sensor DS18B20 bekerja dengan mengubah besaran suhu menjadi besaran tegangan. Tegangan ideal yang keluar dari DS18B20 mempunyai perbandingan 100 setara dengan 1 volt. Sensor ini mempunyai pemanasan diri (*selfheating*) kurang dari 0.1, dapat dioperasikan dengan menggunakan power supply tunggal dan dapat dihubungkan antarmuka (interface) rangkaian control yang sangat mudah (Suasana, 2023).



Gambar 13. Sensor DS18b20 (Suasana, 2023).

1.6.13. Prediction

Metode Linier Regression adalah regresi yang melibatkan hubungan antara satu variabel dependen dengan satu variabel independen atau variabel dependen (Y) dan variabel independen (X). Hubungan variabel dependen dan variabel independen tergantung dalam beberapa bentuk persamaan, sebagai berikut hubungan linear, eksponensial dan yang terakhir berganda. Tujuan penggunaan analisis regresi adalah untuk mengestimasi nilai variabel dependen yang didasarkan pada nilai variabel independen. Metode linier regression didasarkan pada pola hubungan data terkait masa lalu. Secara umum variabel yang dapat diprediksi yang diwakili direpresentasikan oleh variabel yang oleh variabel (seperti persediaan) dipengaruhi oleh besar kecilnya variabel bebas. Hubungan yang terjadi antara variabel independen dengan variabel yang akan ditemukan adalah sebuah

fungsi. Validasi prediksi adalah sebuah proses pengujian seberapa besar tingkat kesalahan yang terjadi antara data aktual dan data prediksi. Terdapat berbagai cara untuk menghitung tingkat kesalahan tersebut yaitu MSE (*mean square error*) adalah rata-rata perbedaan antara nilai prediksi dan observasi, RMSE (*root mean square error*) adalah akar dari MSE, dan MAPE (*mean absolute persentase error*) adalah rata-rata dari diferensiasi absolut antara diprediksi dan aktual nilai-nilai. Hasil nilai MSE dapat dikatakan sangat baik jika nilainya kurang dari 10%. Sedangkan Hasil nilai RMSE dan MAPE dikatakan baik jika semakin kecil hasil nilai tersebut maka nilai prediksinya semakin akurat. (Hamdanah & Fitriana, 2021). Adapun persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\hat{y}_i - y_i)^2}{n}}$$

Dimana:

n = jumlah keseluruhan data

$\hat{y}_i$ = nilai prediksi

y_i = nilai data pengamatan/pengukuran

BAB II

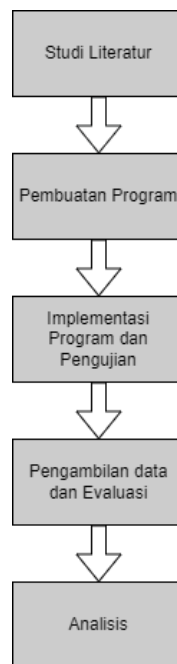
METODE PENELITIAN/PERANCANGAN

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dimulai sejak bulan September 2022, hingga pada proses pelaporan hasil tugas akhir pada 2023. Penulis melakukan penelitian di rooftop kampus, Departemen Teknik Informatika, Gedung Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

2.2 Tahapan Penelitian

Adapun tahapan penelitian pada pengerjaan proyek akhir tugas akhir ini sebagaimana diperlihatkan pada gambar 14.



Gambar 14. Tahapan Penelitian

a. Studi Literatur

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah studi literatur. Pada tahap ini, peneliti mengumpulkan informasi dari berbagai sumber, seperti jurnal ilmiah, buku, artikel, dan sumber-sumber lain yang relevan dengan topik pembangkit listrik tenaga surya dan teknologi

Edge Impulse. Tujuannya adalah untuk memahami konsep dasar, perkembangan teknologi terbaru, dan metode prediksi yang telah digunakan dalam penelitian sebelumnya. Studi literatur juga membantu peneliti dalam merumuskan masalah penelitian, tujuan, dan hipotesis yang akan diuji.

b. Pembuatan Program

Setelah memahami dasar teori dan metode yang relevan, peneliti memasuki tahap pembuatan program. Pada tahap ini, peneliti merancang dan mengembangkan program yang akan digunakan untuk memprediksi hasil arus keluar dari pembangkit listrik tenaga surya. Program ini menggunakan teknologi Edge Impulse, yang merupakan platform machine learning yang dirancang untuk perangkat edge. Peneliti menulis kode, mengintegrasikan sensor data, dan memastikan bahwa program dapat berjalan dengan baik pada perangkat yang akan digunakan.

c. Implementasi Program dan Pengujian

Tahap berikutnya adalah implementasi program dan pengujian. Program yang telah dibuat diimplementasikan pada perangkat edge yang terhubung dengan sistem pembangkit listrik tenaga surya. Peneliti kemudian melakukan pengujian untuk memastikan bahwa program dapat mengumpulkan data dengan akurat dan memprediksi hasil arus keluar secara efektif. Pengujian ini melibatkan berbagai skenario untuk mengevaluasi kinerja program dalam kondisi yang berbeda.

d. Pengambilan Data dan Evaluasi

Setelah program diuji dan dipastikan berjalan dengan baik, peneliti melakukan pengambilan data secara sistematis. Data yang diambil mencakup berbagai parameter yang mempengaruhi kinerja pembangkit listrik tenaga surya, seperti intensitas cahaya matahari, suhu, dan kelembaban. Data ini kemudian digunakan untuk mengevaluasi prediksi yang dibuat oleh program. Peneliti

membandingkan hasil prediksi dengan data aktual untuk mengukur akurasi dan keandalan program.

e. Analisis

Tahap terakhir dalam penelitian ini adalah analisis. Peneliti menganalisis data yang telah dikumpulkan dan hasil prediksi untuk menentukan seberapa baik program dalam memprediksi hasil arus keluar dari pembangkit listrik tenaga surya. Analisis ini melibatkan penggunaan metode statistik untuk mengevaluasi akurasi prediksi dan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja prediksi

2.3 Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian yang digunakan peneliti pada penelitian ini adalah:

1. Hardware

- Laptop Lenovo Thinkpad RAM 12Gb, Processor Intel Core i7
- Panel Surya
- Charge Controller
- Raspberry Pi
- Arduino Nano
- Sensor DHT-11
- Sensor Suhu MLX90614
- Sensor BH1750
- Sensor PZEM-017
- Aki

2. Software

- Windows 10 x64
- Arduino IDE
- Edge Impulse

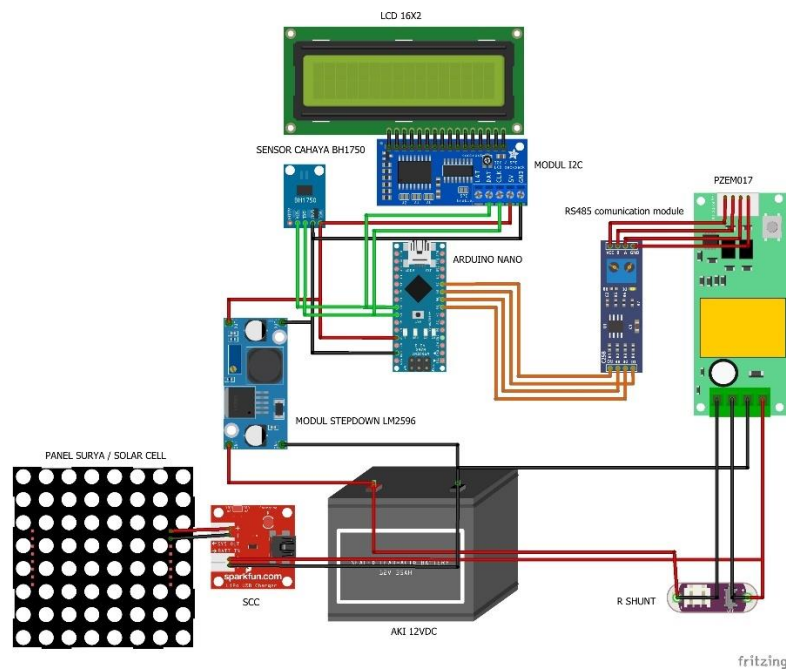
2.4 Pengambilan Data

Data yang digunakan peneliti pada penelitian ini ialah data yang telah diperoleh dari penggunaan beberapa sensor yang telah terpasang pada panel surya, diantaranya sensor cahaya, sensor suhu dan kelembapan, sensor arus DC.

2.5 Perancangan Sistem

3.5.1 Rangkaian Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Adapun alur dan rangkaian sistem pada pembangkit listrik tenaga surya ini adalah sebagai berikut:



Gambar 15. Rangkaian Komponen Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Rangkaian sistem pada gambar 15 pembangkit listrik tenaga surya ini terdiri dari beberapa komponen utama yang berfungsi dalam proses monitoring dan pengelolaan energi listrik dari panel surya. Panel surya (solar cell) bertugas menangkap energi dari cahaya matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Listrik yang dihasilkan kemudian disalurkan ke Solar Charge Controller (SCC), yang berfungsi untuk

mengatur tegangan dan arus sebelum dialirkan ke aki 12VDC. SCC berperan penting dalam menjaga kestabilan pengisian daya ke aki, sekaligus mencegah overcharging yang dapat merusak baterai.

Energi listrik yang disimpan di dalam aki kemudian dapat digunakan untuk berbagai keperluan, termasuk pengoperasian sistem monitoring yang dikendalikan oleh Arduino Nano. Modul PZEM017 digunakan untuk mengukur besaran-besaran listrik seperti arus dan tegangan yang keluar dari aki, dengan bantuan Resistor Shunt (R_{Shunt}) yang dipasang untuk memfasilitasi pengukuran arus. Selain itu, sistem ini juga dilengkapi dengan sensor cahaya BH1750 yang terhubung ke Arduino Nano melalui modul I2C untuk mendeteksi intensitas cahaya matahari yang diterima panel surya. Hasil pengukuran dari berbagai komponen ini akan ditampilkan pada LCD 16x2, sehingga pengguna dapat memonitor performa sistem secara langsung. Dengan konfigurasi ini, rangkaian mampu memantau keluaran daya dari pembangkit listrik tenaga surya secara efisien dan real-time. Panel surya menangkap energi cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik DC. Listrik DC ini kemudian diatur oleh Solar Charge Controller (SCC) yang menggunakan algoritma MPPT untuk memastikan panel surya selalu beroperasi pada titik daya maksimum. SCC juga berfungsi sebagai regulator tegangan dan arus, menjaga stabilitas pengisian aki serta mencegah overcharging. Energi listrik yang tersimpan dalam aki kemudian dapat digunakan untuk berbagai keperluan. Modul PZEM017 bersama dengan resistor shunt digunakan untuk mengukur secara akurat arus dan tegangan yang keluar dari aki. Sensor cahaya BH1750 mengukur intensitas cahaya matahari yang diterima panel surya, data ini kemudian diolah oleh Arduino Nano untuk menghitung daya yang dihasilkan. Hasil pengukuran dan perhitungan ditampilkan pada LCD. Modul RS485 dapat digunakan untuk menghubungkan sistem dengan perangkat lain, memungkinkan pemantauan dan kontrol jarak jauh, untuk lebih jelasnya skematik rangkaian dapat dilihat pada

lampiran.

Berdasarkan diagram rangkaian yang terdapat pada gambar 15 berikut adalah penjelasan input dan output dari setiap sensor dan modul yang digunakan:

1. Panel Surya (Solar Cell)

Input: Cahaya matahari.

Output: Tegangan dan arus listrik (DC) untuk mengisi daya baterai melalui SCC (Solar Charge Controller).

2. SCC (Solar Charge Controller)

Input: Tegangan dan arus dari panel surya.

Output: Tegangan dan arus stabil untuk mengisi baterai 12V. Proteksi untuk mencegah pengisian daya berlebih.

3. Modul Step-down LM2596

Input: Tegangan dari panel surya (biasanya di atas 12V).

4. Output: Tegangan stabil (dapat diatur) untuk memberi daya ke Arduino Nano dan modul lainnya

5. BH1750 (Sensor Cahaya)

Input: Cahaya (intensitas cahaya di sekitar).

Output: Data digital berupa nilai intensitas cahaya dalam satuan lux, yang dikirim melalui antarmuka I2C ke Arduino Nano.

6. PZEM017 (Modul Pengukur Tegangan dan Arus)

Input: Tegangan dari baterai 12V (diukur melalui terminal VCC dan GND). Arus dari baterai (diukur melalui shunt resistor, R Shunt).

Output: Data digital berupa nilai tegangan, arus, daya, dan energi yang dikirim melalui antarmuka RS485 ke Arduino Nano.

7. Modul LCD 16x2 (dengan I2C)

Input: Data dari Arduino Nano melalui modul I2C.

Output: Tampilan nilai atau informasi pada layar LCD

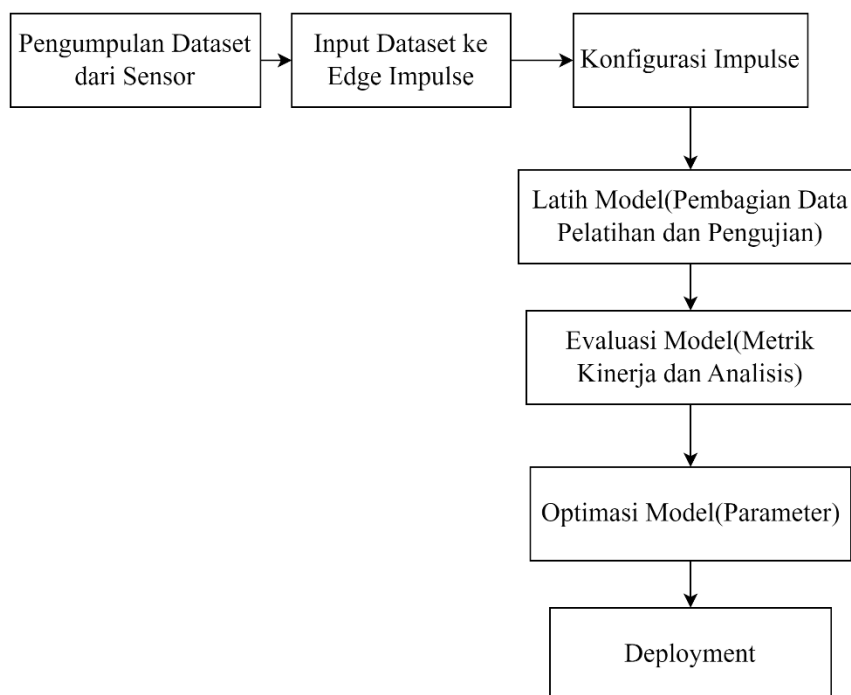
8. Arduino Nano

Input: Data dari sensor BH1750, modul PZEM017, dan tombol (jika ada).

Output: Data yang diproses untuk ditampilkan pada LCD.Kontrol logika atau pengolahan data yang diperlukan.

3.5.2 Penggunaan Tools Edge Impulse

Analisis prediksi arus keluar (*outflow prediction*) menggunakan Edge Impulse memanfaatkan teknologi pembelajaran mesin (*machine learning*) untuk menganalisis data sensor dan membuat model prediktif. Model pada penelitian ini dibangun di Edge Impulse. Pengguna Edge Impulse melakukan tiga hal untuk membangun model, yaitu mengunggah data, mengatur *Impulse*, dan mengatur *deployment* untuk model yang telah dibuat. Gambar 16 mengilustrasikan skema pembangunan dan pengujian model.



Gambar 16. Skema pembangunan dan pengujian model

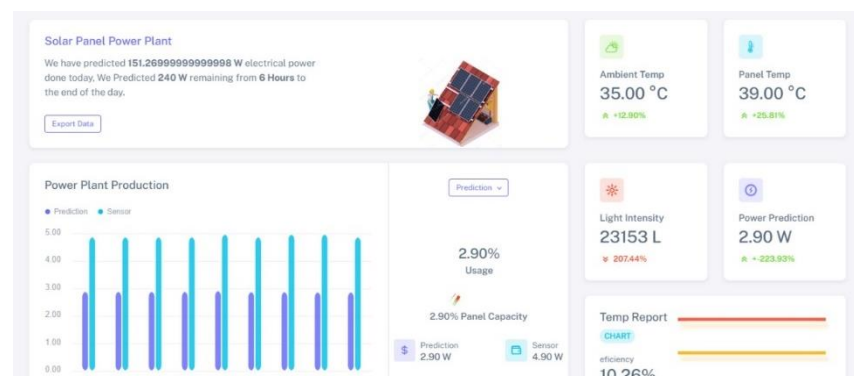
Berdasarkan gambar 16 dalam penelitian ini, model dikembangkan dengan memanfaatkan Edge Impulse. Data yang digunakan adalah data sensor yang awalnya berbentuk tabel Excel. Data ini kemudian dimodifikasi agar dapat diunggah ke Edge Impulse, mengingat platform

ini hanya menerima format file CSV, CBOR, JSON, WAV, JPG, dan PNG. Oleh karena itu, dataset dalam penelitian ini diunggah dalam format CSV. Langkah pertama adalah mengunggah data ke Edge Impulse. Setelah data berhasil diunggah, langkah berikutnya adalah mengonfigurasi Impulse. Tahap ini berisi pemilihan metode pemrosesan fitur yang sesuai yang akan digunakan.

Selanjutnya, model dilatih menggunakan data yang telah diunggah. Proses pelatihan ini mencakup pembagian data menjadi set pelatihan dan pengujian, serta penyesuaian parameter pelatihan. Setelah model dilatih, kinerjanya dievaluasi menggunakan metrik seperti akurasi, *precision*, dan *recall*. Jika model belum memenuhi harapan, proses optimasi dilakukan. Ini bisa melibatkan penyesuaian parameter pelatihan atau penambahan data baru. Setelah model dioptimalkan dan memenuhi kriteria yang diinginkan, tahap deployment dilakukan.

a. Pengambilan/Monitoring Sensor

Dalam penelitian ini, sebelum dilakukan analisis lebih lanjut menggunakan Edge Impulse, data sensor dipantau dan dikumpulkan melalui sistem monitoring yang diimplementasikan pada Raspberry Pi. Gambar 17 dibawah ini menunjukkan antarmuka sistem monitoring yang digunakan untuk mengawasi kinerja panel surya secara real-time.



Gambar 17. Tampilan kinerja panel surya secara real-time

Sebelum melakukan analisis lebih lanjut menggunakan Edge Impulse, data sensor dipantau dan dikumpulkan melalui sistem

monitoring yang diimplementasikan pada Raspberry Pi. Sistem ini menyediakan antarmuka yang memungkinkan pengawasan kinerja panel surya secara real-time. Adapun data yang terekam adalah suhu panel, suhu lingkungan sekitar, dan intensitas cahaya. Berdasarkan data yang ditampilkan, telah diprediksi bahwa total daya listrik yang dihasilkan hingga saat ini adalah 151.27 W, dengan prediksi sisa daya sebesar 240 W dalam 6 jam ke depan hingga akhir hari. Suhu lingkungan saat ini tercatat sebesar 35.00 °C, menunjukkan peningkatan sebesar 12.90%, sementara suhu panel surya tercatat sebesar 39.00 °C, dengan peningkatan sebesar 25.81%. Intensitas cahaya yang diterima oleh panel adalah 23153 L, mengalami peningkatan sebesar 207.44%. Prediksi penggunaan daya adalah 2.90 W, dengan kapasitas panel yang digunakan sebesar 2.90%, dan sensor menunjukkan bahwa daya yang dihasilkan oleh panel adalah 4.90 W. Laporan suhu dan efisiensi panel ditampilkan dalam bentuk grafik untuk memudahkan analisis lebih lanjut, dengan efisiensi panel tercatat sebesar 10.26%. Data yang dikumpulkan melalui sistem monitoring ini diunduh dan dikonversi ke dalam format CSV untuk diunggah ke platform Edge Impulse, memungkinkan penggunaan data historis dan real-time dalam membangun dan menguji model prediksi arus keluar menggunakan teknik *machine learning*.

b. Konversi Dataset

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	id_sensor	at	pt	li	vdc	adc	pdc	pdc_pre	time	status	ket
2	10833	31.00	31.00	7531	0.00	0.00	0.00	-2.34	2024-03-3:0		
3	10834	31.00	31.00	7856	0.00	0.00	0.00	-2.20	2024-03-3:0		
4	10835	31.00	31.00	7805	0.00	0.00	0.00	-2.22	2024-03-3:0		
5	10836	31.00	31.00	7489	0.00	0.00	0.00	-2.35	2024-03-3:0		
6	10837	31.00	31.00	7292	0.00	0.00	0.00	-2.44	2024-03-3:0		
7	10838	31.00	31.00	7160	0.00	0.00	0.00	-2.49	2024-03-3:0		
8	10839	31.00	31.00	7154	0.00	0.00	0.00	-2.50	2024-03-3:0		
9	10840	31.00	31.00	7158	0.00	0.00	0.00	-2.50	2024-03-3:0		
10	10841	31.00	31.00	7175	0.00	0.00	0.00	-2.49	2024-03-3:0		
11	10842	31.00	31.00	7221	0.00	0.00	0.00	-2.47	2024-03-3:0		
12	10843	31.00	31.00	7270	0.00	0.00	0.00	-2.45	2024-03-3:0		
13	10844	31.00	31.00	7036	0.00	0.00	0.00	-2.55	2024-03-3:0		
14	10845	31.00	31.00	7027	0.00	0.00	0.00	-2.55	2024-03-3:0		
15	10846	31.00	31.00	7351	0.00	0.00	0.00	-2.41	2024-03-3:0		
16	10847	31.00	31.00	7474	0.00	0.00	0.00	-2.36	2024-03-3:0		
17	10848	31.00	31.00	7523	0.00	0.00	0.00	-2.34	2024-03-3:0		
18	10849	31.00	31.00	7588	0.00	0.00	0.00	-2.31	2024-03-3:0		
19	10850	31.00	31.00	7610	0.00	0.00	0.00	-2.20	2024-03-3:0		

Gambar 18. Data Set Sensor

Data yang dikumpulkan seperti gambar 18 diatas diperoleh melalui sistem monitoring Raspberry Pi ini kemudian diolah lebih lanjut untuk dianalisis menggunakan platform Edge Impulse. Dataset yang diperoleh dari monitoring sistem ini awalnya berbentuk tabel Excel dan berisi berbagai parameter yang diukur oleh sensor, seperti ID sensor, suhu sekitar, suhu panel surya, arus listrik, tegangan DC, arus DC, daya DC, prediksi daya DC sebelumnya, waktu pengukuran, status pengukuran, dan keterangan tambahan.

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari data sensor yang telah dikumpulkan dalam format tabel Excel. Adapun kolom-kolom dalam dataset tersebut adalah sebagai berikut:

1. **id_sensor**: ID unik untuk setiap entri data, yang mewakili identitas sensor yang mengumpulkan data.
2. **at**: Nilai suhu sekitar dalam satuan derajat Celsius.
3. **pt**: Panel Temperatur, yaitu suhu panel surya dalam satuan derajat Celsius.
4. **li**: Nilai intensitas cahaya dengan satuan Lux
5. **vdc**: Tegangan DC yang diukur dalam Volt.
6. **adc**: Nilai arus DC yang diukur dalam satuan Amper.
7. **pd**: Daya DC yang diukur dalam satuan Watt.
8. **pd_pre**: Prediksi daya DC sebelumnya dalam satuan Watt.
9. **time**: Tanggal dan waktu pengukuran

Dataset ini selanjutnya dimodifikasi agar sesuai dengan format yang dapat diterima oleh Edge Impulse, yaitu CSV. Konversi dataset ini ke format CSV dilakukan agar memungkinkan pengunggahan ke platform Edge Impulse, yang merupakan langkah awal dalam proses pengembangan model pembelajaran mesin.

Setelah data berhasil diunggah ke Edge Impulse, langkah selanjutnya adalah konfigurasi Impulse. Tahap ini berisi pemilihan metode pemrosesan fitur yang sesuai serta algoritma pembelajaran mesin yang akan digunakan. Model kemudian dilatih menggunakan data yang telah diunggah, dengan proses pelatihan mencakup

pembagian data menjadi set pelatihan dan pengujian, serta penyesuaian parameter pelatihan.

c. Konfigurasi Edge Impulse

Kinerja model dievaluasi menggunakan berbagai metrik, seperti akurasi, precision, dan recall. Jika model belum memenuhi kriteria yang diharapkan, dilakukan optimasi melalui penyesuaian parameter pelatihan atau penambahan data baru. Setelah model dioptimalkan dan memenuhi kriteria yang diinginkan, model tersebut dideploy ke perangkat edge untuk digunakan dalam prediksi real-time.

2.6 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan dengan cara membuat dataset dari kumpulan rata-rata data harian yang diambil setiap hari menggunakan Raspberry Pi yang terintegrasi dengan beberapa sensor yang terpasang pada Panel Surya untuk kemudian dilakukan prediksi dengan menggunakan Edge Impulse untuk mendapatkan data arus keluar pada pembangkit listrik tenaga surya

