

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Penelitian Terdahulu**

Penelitian ini tidak terlepas dari hasil penelitian-penelitian sebelumnya sebagai bahan pembandingan serta sebagai kajian, berikut adalah hasil penelitian terdahulu sebagai bahan pembandingan juga bahan kajian penulis.

##### **2.1.1 Studi Perancangan PLTS skala rumahan**

Studi perencanaan sistem pembangkit listrik tenaga surya skala rumah sederhana rahayuningtyas dkk (2014) melakukan kegiatan penelitian perihal studi perencanaan sistem pembangkit listrik tenaga surya skala rumah sederhana sebagai pembangkit listrik alternatif untuk mendukung program ramah lingkungan dengan hasil Aplikasi sistem PLTS untuk kelistrikan desa sebagai sistem penerangan rumah secara individual atau desentralisasi dengan daya terpasang relatif kecil yaitu sekitar 48-55 Wp [5].

##### **2.1.2 Perancangan dan realisasi Voltmeter dan Amperemeter DC menggunakan Mikrokontroler**

Perancangan dan realisasi Voltmeter dan Amperemeter DC menggunakan Mikrokontroler Putri dkk (2017) Membuat alat ukur berbasis mikrokontroler dengan Arduino untuk mengukur tegangan dan arus AC712, guna merealisasikan alat ukur yang digunakan untuk menghitung tegangan dan arus yang masuk dan ditampilkan pada LCD 2x16, Tujuan penelitian adalah guna mempersingkat waktu pengukuran tegangan dan arus. [6]

## 2.2 Definisi Pembangkit Listrik Tenaga Surya

PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) adalah suatu sistem yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan memanfaatkan energi surya/panas dari matahari yang diserap oleh panel surya melalui proses *fotovoltaik*. Energi matahari (surya) adalah energi yang didapat dengan mengubah energi panas surya (matahari) melalui peralatan tertentu menjadi sumber daya dalam bentuk lain. Pembangkit Listrik Tenaga Surya berdasarkan sistem klasifikasi PLTS dibagi menjadi dua yaitu:

### A. Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Off-Grid*

PLTS *Off Grid* atau disebut juga *stand alone PV (photovoltaic)* system atau sistem pembangkit listrik yang hanya mengandalkan energi matahari sebagai satu-satunya sumber energi utama dengan menggunakan rangkaian panel surya untuk menghasilkan energi listrik sesuai kebutuhan. Dengan menginstalasi sistem ini Anda tidak perlu lagi menggunakan listrik dari PLN ataupun backup lainnya seperti genset. *Off Grid* bersifat mandiri, adapun tipe solar sistem untuk hunian yang menggunakan baterai hanyalah sebagai media penyimpanan atau bank energi. Pada sistem *Off Grid*, kapasitas baterai harus memperhitungkan cadangan jika kondisi cuaca buruk yang berakibat pada produksi energi sinar matahari kurang optimal. Untuk Indonesia, kementerian ESDM menyarankan masyarakat yang menggunakan sistem ini untuk menggunakan baterai dengan kapasitas cadangan minimal 3 hari sebagai patokan (*autonomous days*) [7]

## B. Pembangkit Listrik Tenaga Surya *On-Grid*

PLTS *On-Grid* yaitu Sistem *On-Grid* (disebut juga *Grid Tie/ Grid Interactive*), menggunakan solar panel untuk menghasilkan listrik yang ramah lingkungan dan bebas emisi. Sesuai namanya, rangkaian sistem ini tetap terhubung dengan jaringan PLN dengan mengoptimalkan pemanfaatan energi dari panel surya untuk menghasilkan energi semaksimal mungkin. Dalam sistem *On Grid*, baterai merupakan hal yang tidak wajib, mengingat tenaga surya bukanlah sumber energi utama. Sesuai namanya, *On Grid* berarti bekerjasama dengan arus listrik dari PLN. Yakni arus PLN menjadi penghubung atau penyalur arus listrik dari panel surya kepada beban. Sehingga seluruh penggunaan listrik pada waktu siang hari dihasilkan dari energi listrik panel surya. Sedangkan untuk malam hari menggunakan PLN. [7]

### 2.3 Cara Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Prinsip kerja dari panel surya adalah jika cahaya matahari mengenai panel surya, maka elektron-elektron yang ada pada sel surya akan bergerak dari N ke P, sehingga pada terminal keluaran dari panel surya akan menghasilkan energi listrik. 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 [8].

Pembangkit listrik tenaga surya itu konsepnya sederhana. Yaitu mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Cahaya matahari merupakan salah satu bentuk energi dari sumber daya alam. Sumber daya alam matahari sudah banyak digunakan untuk memasok daya listrik di satelit komunikasi melalui sel surya. Sel surya ini dapat menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang tidak terbatas dan tidak memerlukan bahan bakar. Sehingga sistem sel surya ini dikatakan bersih dan ramah lingkungan.

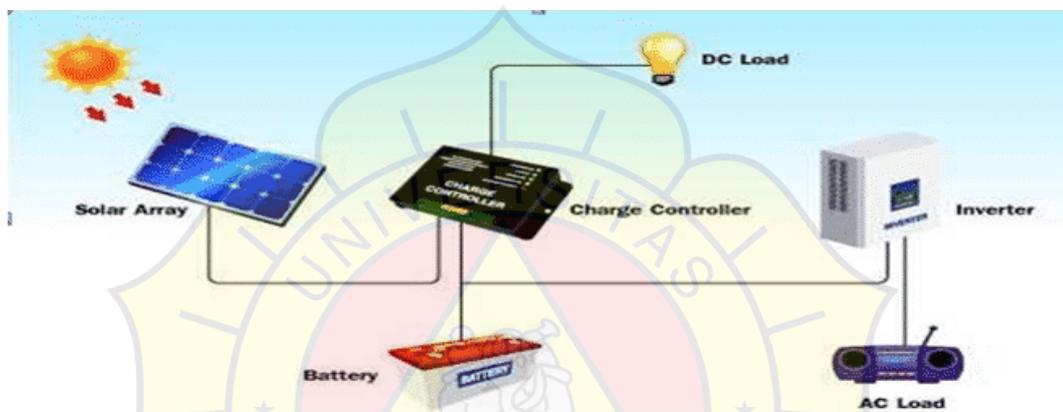
Sel surya adalah dioda semikonduktor yang dapat mengubah cahaya menjadi listrik dan merupakan komponen utama dalam sistem PLTS.

Selain terdiri atas modul-modul sel surya, komponen lain dalam sistem PLTS adalah *Balance of System (BOS)* berupa inverter dan kontroler. PLTS sering dilengkapi dengan baterai sebagai penyimpan daya, sehingga PLTS dapat tetap memasok daya listrik ketika tidak ada cahaya matahari.

Pembangkitan energi listrik pada sel surya terjadi berdasarkan efek fotolistrik, atau disebut juga efek *fotovoltaik*, yaitu efek yang terjadi akibat foton dengan panjang gelombang tertentu yang jika energinya lebih besar daripada energi ambang semikonduktor, maka akan diserap oleh elektron sehingga elektron berpindah dari pita valensi (N) menuju pita konduksi (P) dan meninggalkan hole pada pita valensi, selanjutnya dua buah muatan, yaitu pasangan *elektron-hole*, dibangkitkan. Aliran *elektron-hole* yang terjadi apabila dihubungkan ke beban listrik melalui penghantar akan menghasilkan arus listrik[8].

Dalam cahaya matahari terkandung energi dalam bentuk foton. Ketika foton ini mengenai permukaan sel surya, elektron-elektronnya akan tereksitasi dan

menimbulkan aliran listrik. Prinsip ini dikenal sebagai prinsip *photoelectric*. Sel surya dapat tereksitasi karena terbuat dari material semikonduktor yang mengandung unsur silikon. Silikon ini terdiri atas dua jenis lapisan sensitif: lapisan negatif (tipe-n) dan lapisan positif (tipe-p). Sel surya ini mudah pecah dan berkarat jika terkena air. Karena itu sel ini dibuat dalam bentuk panel-panel ukuran tertentu yang dilapisi plastic atau kaca bening yang kedap air. Panel ini dikenal sebagai panel surya [8].



**Gambar 2. 1** Sistem Kerja PLTS [8]

Listrik yang dihasilkan oleh panel surya dapat langsung digunakan atau disimpan lebih dahulu ke dalam baterai. Arus listrik yang dihasilkan adalah listrik dengan arus searah (DC) sebesar 3.5 A. Besar tegangan yang dihasilkan adalah 0.4-0.5V. Kita dapat mendesain rangkaian panel-panel surya, secara seri atau paralel, untuk memperoleh output tegangan dan arus yang diinginkan. Untuk memperoleh arus bolak balik (AC) diperlukan alat tambahan yang disebut inverter.

Prinsip kerja dari panel surya adalah jika cahaya matahari mengenai panel surya, maka elektron – elektron yang ada pada sel surya akan bergerak dari N ke P, sehingga pada terminal keluaran dari panel surya akan menghasilkan energi listrik.

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 [8].

Keluaran dari panel surya ini sudah dapat digunakan langsung ke beban yang memerlukan sumber tegangan DC dengan konsumsi arus yang kecil. Agar energi listrik yang dihasilkan juga dapat digunakan pada kondisi – kondisi seperti pada malam hari (kondisi saat panel surya tidak disinari cahaya matahari), maka keluaran dari panel surya ini harus dihubungkan ke sebuah media penyimpanan (*storage*). Dalam hal ini adalah baterai. Tetapi ini tidak langsung dihubungkan begitu saja dari panel surya ke baterai, tetapi harus dihubungkan ke rangkaian Regulator, dimana di dalam rangkaian tersebut terdapat rangkaian pengisi Baterai otomatis (*Automatic charger*).

Fungsi dari Regulator ini adalah untuk meregulasi tegangan keluaran dari panel surya dan mengatur arus yang masuk ke Baterai secara otomatis. Selain itu Regulator berfungsi untuk menghubungkan dan memutuskan arus dari Panel Surya ke Baterai secara otomatis dan juga berfungsi untuk memutuskan aliran arus dari baterai ke beban bila terjadi hubung singkat ataupun beban yang berlebihan. Tipe regulator yang dirancang disini adalah tipe modifikasi atau gabungan antara seri dan paralel.

Panel Surya sebenarnya dapat langsung digunakan tanpa diberi rangkaian regulator ataupun baterai, tetapi ini tidak dilakukan karena dapat membebani

kinerja dari panel (akibat adanya beban yang berlebihan) sehingga tidak akan terjadi kerusakan yang fatal pada panel surya tersebut. Selain itu regulator ini juga berfungsi untuk mengamankan dari terjadinya kelebihan beban dari panel surya sehingga panel surya tidak cepat rusak.

Hubungan baterai dengan beban adalah dihubungkan paralel langsung ke beban. Jika baterai tersebut telah terisi dengan penuh. Untuk melindungi baterai akibat adanya beban yang berlebihan (*overload*) ataupun hubung singkat pada beban, maka sebelum baterai dihubungkan langsung harus melewati rangkaian proteksi. Dimana fungsinya sudah cukup jelas, yaitu untuk memproteksi ataupun melindungi baterai akibat adanya beban yang berlebihan (*overload*) ataupun hubung singkat pada beban.

Jika kita menginginkan hasil keluaran listrik dari PLTS ini berupa listrik arus bolak-balik (AC) maka PLTS yang sudah dapat mengeluarkan listrik arus searah (DC) ini harus dihubungkan ke sebuah rangkaian elektronik / modul elektronik yang bernama *Inverter DC – AC*. Dimana *Inverter DC – AC*, berfungsi untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak – balik (AC). Setelah arus listrik searah diubah menjadi arus listrik bolak – balik, selanjutnya keluaran dari *inverter* ini yang telah berupa arus bolak – balik ini dapat langsung digunakan untuk mencatu peralatan listrik dan elektronika yang membutuhkan arus bolak-balik.

Besarnya tegangan dan daya keluaran yang dapat dihubungkan ke beban nantinya harus sesuai dengan kemampuan *inverter* yang dipakai dan besarnya

sistem penyimpanan yang digunakan (besarnya *ampere hour* (AH) atau amper jam dari baterai).

## **2.4 Komponen Penyusun Pembangkit Listrik Tenaga Surya**

### **2.4.1 Photovoltaic Modul**

Modul *PhotoVoltaic* atau biasa disebut modul surya adalah perangkat yang terdiri dari bahan semikonduktor seperti *silikon*, *galium arsenide* dan *kadmium telluride*, dll yang mengubah sinar matahari langsung menjadi listrik. Ketika *solar cell* menyerap sinar matahari, elektron-elektron bebas dan lubang-lubang membuat sambungan positif / negatif, dan ketika dihubungkan dengan beban DC, maka arus listrik akan mengalir ke beban tersebut. Jenis-jenis sel surya, dilihat dari bahan pembuatannya terdiri dari:

a. *Crystalline Silicon PV Module (c-Si)*

Terdiri dari *single crystalline silicon* atau dikenal sebagai *silikon monocrystalline* dan *multi-crystalline silicon*, juga disebut *silikon polikristalin*. *Module PV The polycrystalline silicon* memiliki efisiensi konversi yang lebih rendah dari *module PV single crystalline silicon* tetapi keduanya memiliki efisiensi konversi tinggi yang rata-rata sekitar 10-12%.

b. *Amorphous Silicon PV Module PV*

modul *Amorphous Silicon (a-Si)* atau modul PV film tipis silikon menyerap cahaya lebih efektif daripada *Module PV crystalline silicon*, sehingga dapat dibuat lebih tipis. Cocok untuk semua aplikasi dengan efisiensi tinggi dan dengan biaya rendah adalah penting. Efisiensi dari *module PV Amorphous Silicon* adalah sekitar 6%

c. *Hybrid Silicon PV Module*

Sebuah kombinasi dari silikon *single crystalline* yang dikelilingi oleh lapisan tipis *Amorphous silicon* yang memberikan sensitivitas yang sangat baik untuk tingkat cahaya rendah atau cahaya tidak langsung. *Hybrid Silicon PV Module* memiliki efisiensi konversi yang tertinggi yaitu sekitar 17%. Bahan semikonduktor saat ini yang paling sering digunakan untuk produksi *Solar cell* adalah silikon, dimana memiliki beberapa keuntungan diantaranya; dapat dengan mudah ditemukan di alam, tidak mencemari, tidak merusak lingkungan dan dapat dengan mudah mencair, ditangani dan dibentuk menjadi bentuk *silikon monocrystalline*, dll. Pada umumnya *Solar cell* dikonfigurasi sebagai sambungan *a large-area p-n* daerah yang terbuat dari silikon.

Besaran arus listrik yang dapat dikonversi dari energi matahari menjadi arus listrik diukur dalam satuan watt peak (WP), artinya kalau modul surya berukuran 100 WP, maka dalam satu jam akan mengeluarkan arus sebesar 100 watt. Apabila arus yang dibutuhkan lebih besar dari keluaran modul surya, maka modul surya dipasang beberapa unit membentuk suatu *array*.

#### **2.4.2 Solar Charge Controller**

Solar Charge Controller adalah suatu alat kontrol yang berfungsi untuk mengatur tegangan dan arus yang dikeluarkan dari modul surya, melakukan proses pengisian baterai, mencegah baterai dari pengisian yang berlebihan, juga mengendalikan proses *discharge*. Yang perlu diperhatikan dalam menggunakan *charge controller* ini adalah besarnya tegangan dan daya yang dikeluarkan modul

surya dan yang dapat diterima baterai. Satuan untuk tegangan adalah Volt, sedangkan kuat arus dalam ampere, misalnya 12 volt/10A.

### 2.4.3 Baterai

Baterai adalah komponen PLTS Baterai yang berfungsi untuk menyimpan sementara energi listrik yang dihasilkan modul surya atau disebut juga dengan panel surya, baterai pada PLTS mengalami proses siklus mengisi dan mengosongkan, tergantung dari ada tidaknya sinar matahari. Menurut Rahmat (2013) mengatakan bahwa baterai juga diartikan sebagai perangkat yang mengandung sel listrik yang dapat menyimpan energi dan dapat mengkonversi menjadi daya. Baterai menghasilkan listrik dari proses penyerapan sinar matahari yang diserap oleh panel listrik. Selama ada sinar matahari, panel surya akan menghasilkan listrik, apabila energi listrik yang dihasilkan tersebut melebihi kebutuhan bebannya, maka energi listrik tersebut akan segera dipergunakan untuk mengisi baterai. Sebaliknya, selama matahari tidak ada maka permintaan energi listrik akan disuplai oleh baterai. Proses pengisian ini disebut satu siklus baterai.

Kapasitas baterai umumnya dinyatakan dalam *Ampere Hour (Ah)*. Nilai *Ampere Hour* pada baterai ini yaitu menunjukkan nilai arus yang dapat dilepaskan, dikalikan dengan nilai waktu untuk pelepasan terbut. Berdasarkan hal tersebut maka secara teoritis, baterai 12v, 200 Ah dapat memberikan baik 200 A selama satu jam, 50 A selama 4 jam, 4 A untuk 50 jam, atau 1A untuk 200 jam. Pada saat mendesain kapasitas baterai yang akan dipergunakan dalam *System PLTS*, penting juga untuk menentukan ukuran hari-hari otonomi (*das of autonomy*).

Suatu ketentuan yang membatasi tingkat kedalaman pengosongan maksimum, diberlakukan pada baterai. Tingkat kedalaman pengosongan baterai biasanya dinyatakan dalam persentase. Misalnya, suatu baterai memiliki DOD 80%, yang artinya bahwa hanya 80% dari energi yang tersedia dapat dipergunakan dan 20% tetap berada dalam cadangan. Pengaturan DOD berperan dalam menjaga usia pakai (*Lifetime*) dari baterai tersebut. Semakin dalam DOD pada suatu Baterai, maka semakin pendek juga pula siklus hidup baterai tersebut

#### **2.4.4 Inverter**

Inverter adalah peralatan Listrik atau elektronika yang berfungsi untuk mengubah arus DC dari panel surya atau baterai menjadi arus AC. Pemilihan inverter yang tepat untuk aplikasi tertentu, tergantung pada kebutuhan beban. Efisiensi inverter pada saat pengoperasian adalah sebesar 90%.

#### **2.5 Pengertian Daya Listrik**

Daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha dari definisi ini, maka daya listrik (P) dapat dirumuskan. Berikut ini adalah rumus untuk menghitung daya sebagai demikian:

$$P = V \times I \quad (2.1)$$

Keterangan :

P = Daya (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Kuat Arus (Ampere)

## 2.6 Definisi Arduino

Menurut Sulaiman (2012:1), arduino merupakan platform yang terdiri dari software dan hardware. Hardware Arduino sama dengan microcontroller pada umumnya hanya pada arduino ditambahkan penamaan pin agar mudah diingat. Software Arduino merupakan software open source sehingga dapat di download secara gratis. Software Ini digunakan untuk membuat dan memasukkan program ke dalam Arduino. Pemrograman Arduino tidak sebanyak tahapan mikrokontroler konvensional karena Arduino sudah didesain mudah untuk dipelajari, sehingga para pemula dapat mulai belajar mikrokontroler dengan Arduino.

Menurut Santosa (2012:1), arduino adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik open source yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel.

Berdasarkan dua definisi yang dikemukakan diatas dapat disimpulkan bahwa arduino merupakan kit elektronik atau papan rangkaian elektronik yang didalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel serta software pemrograman yang berlisensi open source.

## 2.7 Jenis Jenis Arduino

### 2.7.1 Arduino Uno

Kata “Uno” itu diambil dari bahasa Italia yang artinya satu. Nama ini menandai peluncuran Arduino versi 1.0 (pertama) dan akan terus berkembang. Jenis Arduino Uno merupakan produk papan sirkuit USB pertama yang dijadikan

contoh model referensi untuk pengembangan platform Arduino kedepannya. Sampai saat ini, jenis2 Arduino Uno yang biasa beredar di pasaran sudah sampai R3 (Revisi 3).

### **2.7.2 Arduino Mega 2560**

Arduino Mega 2560 merupakan versi pengganti dari Arduino Mega. Dinamakan Arduino Mega 2560 karena jenis mikrokontroler yang digunakan adalah tipe Atmega2560 yang sebelumnya Atmega1280.

### **2.7.3 Intel Galileo**

Mikrokontroler Intel Galileo menggunakan prosesor tipe Intel Quark SoC X1000, yaitu prosesor 32 Bit yang berarsitektur sama dengan Intel Pentium. Meskipun demikian, mikrokontroler jenis ini tetap kompatibel dengan *software* Arduino IDE untuk urusan program. Lihat spesifikasi teknis Intel Galileo berikut ini:

### **2.7.4 Arduino Nano R3**

Arduino Nano menggunakan mikrokontroler jenis Atmega328 atau Atmega168 dan dilengkapi FTDI untuk pemrograman melalui *microUSB*. Bentuk Arduino Nano yang kecil, lengkap, dan sederhana sehingga memungkinkan ditempatkan pada *breadboard*.

### **2.7.5 Arduino Pro Mini**

Arduino jenis ini sangat cocok untuk pengguna tingkat lanjut yang memerlukan fleksibilitas, biaya minim, dan ukuran yang kecil. Karena bentuknya yang mini, komponennya pun minim. Di Arduino ini tak ada *on board USB* atau

pin *header*. Arduino ini adalah pilihan terbaik untuk kamu yang mau meninggalkan *board* tertanam dalam proyek.

### **2.7.6 Arduino Mega ADK**

Arduino Mega ADK merupakan Arduino yang menggunakan tipe mikrokontroler Atmega2560. Arduino ini menggunakan antarmuka USB untuk terhubung ke ponsel berbasis Android berdasarkan *MAX3421e IC*. Kelebihan dari Arduino mega ADK ini adalah memiliki *port* USB tersendiri yang membuat *boardnya* jadi lebih simpel. Singkatnya Arduino Mega biasa bisa diubah menjadi Arduino mega ADK dengan menambahkan *shield* USB. ADK merupakan singkatan dari *Android Development Kit*. Arduino ini kegunaannya untuk berkomunikasi dengan smartphone android via USB. Spesifikasi teknis Arduino Mega ADK berikut ini:

### **2.8 Sistem Pemrograman Pada Arduino**

Bahasa pemrograman Arduino pada dasarnya menggunakan bahasa pemrograman C. Bahasa C sendiri merupakan bahasa tingkat tinggi yang banyak digunakan oleh para programmer. Penggunaan dari bahasa Arduino akan sama dengan bahasa C. Berikut Jenis Struktur Bahasa Pemrograman Arduino:

### **2.9 Module SD Card**

*Module micro sd* merupakan modul untuk mengakses *microSD* untuk pembacaan maupun penulisan data dengan menggunakan sistem antarmuka SPI (*Serial Parallel Interface*)

## 2.10 Module Sensor arus dan tegangan (INA219)

Dalam jurnal Hasbi Tri Monda (2018) menjelaskan bahwa INA219 merupakan modul sensor yang dapat memonitoring tegangan dan arus pada suatu rangkaian listrik. INA 219 didukung dengan *interface I2C* , INA219 merupakan modul sensor yang dapat memonitoring tegangan dan arus pada suatu rangkaian listrik. INA 219 didukung dengan *interface I2C* atau *SMBUS-COMPATIBLE* dimana peralatan ini mampu memonitoring tegangan shunt dan suplai tegangan bus, dengan konversi program times dan filtering.

