

**LAPORAN KERJA PRAKTEK**

**ANALISA PERFORMA PV ROOFTOP 10 kW<sub>p</sub> BERBASIS  
SMART GRID DI GEDUNG ENERGI B2TKE-BPPT**



Oleh :

Kevin Dwiyanto Saputra

I0717023

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA**

**2020**

# **LAPORAN KERJA PRAKTEK**

## **ANALISA PERFORMA PV ROOFTOP 10 kWp BERBASIS SMART GRID DI GEDUNG ENERGI B2TKE-BPPT**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan kelulusan

Mata Kuliah Kerja Praktek



Oleh :

Kevin Dwiyanto Saputra

I0717023

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
SURAKARTA**

**2020**

## **HALAMAN PENGESAHAN**

### **ANALISA PERFORMA PV ROOFTOP 10 kWp BERBASIS SMART GRID DI GEDUNG ENERGI B2TKE-BPPT**

Oleh :

Kevin Dwiyanto Saputra

I0717023

Koordinator Kerja Praktek

Pembimbing Kerja Praktek

Jaka Sulistya Budi, S.T.  
NIP. 196710191999031001

Hari Maghfiroh S.T., M.Eng.  
NIP. 199104132018031001

Kepala Program Studi  
Teknik Elektro

Feri Adriyanto, Ph.D.

NIP. 196801161999031001

## **HALAMAN PENGESAHAN**

### **ANALISA PERFORMA PV ROOFTOP 10 kW<sub>p</sub> BERBASIS SMART GRID DI GEDUNG ENERGI B2TKE-BPPT**

Oleh :

Kevin Dwiyanto Saputra

I0717023

Kepala Bidang Teknologi

Kelistrikan



Ir. Riza, M. Eng

Pembimbing Lapangan



Asih Kurniasari S.T

## **ABSTRAK**

### **ANALISA PERFORMA PV ROOFTOP 10 kWp BERBASIS SMART GRID DI GEDUNG ENERGI B2TKE-BPPT**

Kevin Dwiyanto Saputra

Sistem PLTS Rooftop 10 kWp yang ada di Gedung Energi, PUSPIPTEK memiliki sistem on grid yang langsung terhubung ke jaringan PLN. Sistem tersebut menggunakan inverter on-grid SMA Sunny Tripower TL10000 dengan kapasitas 10250 W. Sistem ini dilengkapi dengan baterai Li-ion 2x5 kWh dengan Hybrid Inverter Sunny Island SI3.0M, serta didukung dengan sistem SCADA system yang dapat memonitoring status komponen smart grid, rekaman produksi energi PV, serta integrasi dengan smart meter dan juga *Weather Station* untuk memonitoring cuaca. Performa yang ditunjukkan oleh sistem PLTS Rooftop 10 kWp pada bulan November 2019 mampu menghasilkan energi harian rata-rata sebesar 40,12 kWh dengan *performance ratio* rata-rata sebesar 80,97 serta memiliki efisiensi modul rata-rata sebesar 13,57%. Pada sistem weather station terdapat kesalahan/error dibagian PLC nya, sehingga data pada weather station terkadang tidak terekam di sistem SCADA.

Kata Kunci : PLTS Rooftop, sistem SCADA, *Weather Station*.

## ***ABSTRACT***

### ***ANALYSIS OF 10 KWP ROOFTOP PV PERFORMANCE BASED ON SMART GRID IN ENERGY BUILDING B2TKE-BPPT***

Kevin Dwiyanto Saputra

*The 10 kWp Rooftop PLTS system in the Energy Building, PUSPIPTEK has an on grid system that is directly connected to the PLN network. The system uses the Sunny Tripower TL10000 SMA on-grid inverter with a capacity of 10250 W. This system is equipped with a 2x5 kWh Li-ion battery with Sunny Island SI3.0M Hybrid Inverter, and is supported by a SCADA system that can monitor the status of smart grid components, record PV energy production, and integration with smart meters and also Weather Stations to monitor weather. The performance shown by the 10 kWp Rooftop PLTS system in November 2019 was able to produce an average daily energy of 40.12 kWh with an average performance ratio of 80.97 and an average module efficiency of 13.57%. In the weather station system there are errors in the PLC section, so data on the weather station is sometimes not recorded on the SCADA system.*

*Keywords: Rooftop PLTS, SCADA system, Weather Station.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunianya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Kerja Praktek yang berjudul “*Analisa Performa PV Rooftop 10 kWp Berbasis Smart Grid Di Gedung Energi B2TKE-BPPT*”.

Penulisan laporan kerja praktek ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada pihak-pihak yang membantu pelaksanaan dan penyusunan Laporan Kerja Pratek sehingga laporan dapat terselesaikan, khususnya kepada:

1. Bapak Feri Adriyanto, Ph.D. selaku Kepala Program Studi Teknik Elektro Universitas Sebelas Maret.
2. Bapak Hari Maghfiroh S.T., M.Eng. selaku Dosen Pembimbing Kerja Praktek.
3. Bapak Jaka Sulistya Budi, S.T. selaku Koordinator Kerja Praktek.
4. Balai Besar Teknologi Konversi Energi (B2TKE)-BPPT yang telah memberikan kesempatan bagi penulis untuk melaksanakan kerja praktek.
5. Bapak Ir. Riza, M. Eng selaku Kepala Bidang Teknologi Kelistrikan dan Ibu Asih Kurniasari S.T selaku pembimbing lapangan yang telah membantu penulis dalam melaksanakan kerja praktek dan pembuatan laporan.
6. Seluruh karyawan/staf system owner yang telah memberikan banyak ilmu.
7. Kedua orang tua dan seluruh rekan-rekan yang senantiasa memberikan doa dan motivasi dalam menyelesaikan setiap tugas perkuliahan.

Penulis berharap laporan ini dapat bermanfaat bagi pembaca. Penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

Surakarta, 27 Februari 2020

Penulis

# DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	v
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xi
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Kerja Praktek .....	3
1.3 Manfaat Kerja Praktek .....	3
1.4 Metode Kerja Praktek .....	4
1.5 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Kerja Praktek.....	5
1.6 Sistematika Penulisan .....	5
BAB II PROFIL PERUSAHAAN .....	7
2.1 Gambaran Umum Balai Pengkajian dan Penelitian Teknologi (BPPT).....	7
2.2 Logo Perusahaan.....	8
2.3 Visi dan Misi Perusahaan .....	9
2.3.1 Visi .....	9
2.3.2 Misi .....	9
2.4 Tujuan Perusahaan.....	9
2.5 Sejarah Balai Besar Teknologi Konversi Energi (B2TKE).....	9
2.6 Struktur Organisasi Perusahaan .....	13
2.7 Unit Kerja B2TKE .....	14
BAB III TINJAUAN PUSTAKA .....	19
3.1 Panel Surya .....	19
3.1.1 Mekanisme Konversi Energi Panel surya .....	19



3.1.2	Struktur Umum Sel Surya .....	20
3.1.3	Jenis Panel Surya .....	21
3.2	Inverter .....	23
3.2.1	<i>Square Wave</i> .....	24
3.2.2	<i>Pure Sine Wave</i> .....	24
3.2.3	<i>Modified Sine Wave</i> .....	24
3.3	Parameter Unjuk Kerja PLTS .....	25
3.3.1	<i>Array Yield (<math>Y_A</math>)</i> .....	25
3.3.2	<i>Final Yield (<math>Y_F</math>)</i> .....	25
3.3.3	<i>Reference Yield (<math>Y_R</math>)</i> .....	25
3.3.4	<i>Performance Ratio (PR)</i> .....	25
3.3.5	Efisiensi Modul PV .....	26
3.3.6	Efisiensi Sistem PV .....	26
3.3.7	Efisiensi Inverter .....	26
3.3.8	<i>Array Capture Loss (<math>L_c</math>)</i> .....	26
3.3.9	<i>System Loss (<math>L_s</math>)</i> .....	26
3.3.10	Faktor Kapasitas (CF) .....	26
BAB IV PEMBAHASAN .....		27
4.1	Sistem PLTS Berbasis Smart Grid .....	27
4.1.1	<i>Single Line Diagram</i> PLTS Rooftop .....	27
4.1.2	Sistem PLTS dan On-Grid Inverter .....	28
4.1.3	Sistem Hybrid Inverter dan Baterai .....	30
4.1.4	<i>Weather Station</i> .....	30
4.1.5	Sistem AMI ( <i>Automatic Meter Reading</i> ) .....	31
4.1.6	Sistem SCADA .....	31
4.2	Analisa Performa Sistem PLTS 10 kWp .....	32

4.2.1	Hasil perhitungan $E_{AC}$ dan $E_{DC}$ .....	33
4.2.2	Hasil perhitungan Array Yield ( $Y_A$ ), Reference Yield ( $Y_R$ ), dan Final Yield ( $Y_F$ ) .....	33
4.2.3	Hasil perhitungan <i>Performance Ratio</i> (PR) .....	34
4.2.4	Hasil perhitungan Efisiensi Sistem, PV, dan Inverter .....	35
4.2.5	Hasil perhitungan Faktor Kapasitas .....	35
4.2.6	Hasil perhitungan <i>Capture Loss</i> ( $L_C$ ) dan <i>System Loss</i> ( $L_S$ ) .....	36
4.2.7	Hasil Rata-Rata .....	37
4.3	Pengecekan Sistem <i>Weather Station</i> .....	37
4.4	Penambahan Beban AC Split Pada Sistem PLTS 10 kWp .....	39
BAB V PENUTUP .....		40
5.1	Kesimpulan .....	40
5.2	Saran .....	41
DAFTAR PUSTAKA .....		42

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Logo BPPT .....	8
Gambar 2. 2 Prasasti Peresmian.....	10
Gambar 2. 3 B2TKE-BPPT .....	12
Gambar 2. 4 Struktur Organisasi B2TKE .....	14
Gambar 2. 5 Skematik Sistem Smart Micro Grid di Kab. Sumba Barat Daya .....	15
Gambar 2. 6 PLTP Kamojang, Garut, Jawa Barat .....	16
Gambar 3. 1 Skema Solar Cell.....	20
Gambar 3. 2 Struktur Solar Panel .....	21
Gambar 3. 3 Panel Surya Monocrystalline Silicon .....	22
Gambar 3. 4 Panel Surya Polychrytalline Silicon .....	22
Gambar 3. 5 Thin Film Photovoltaic .....	23
Gambar 3. 6 Perbedaan Keluaran Inverter .....	24
Gambar 4. 1 Single Line Diagram PV Rooftop Gedung Energi.....	27
Gambar 4. 2 Inverter SMA Sunny Tripower TL10000.....	28
Gambar 4. 3 PV Rooftop 10 kWp.....	28
Gambar 4. 4 Hybrid Inverter Sunny Island SI3.0M, Parallel Kit, Fuse Box, dan Li-on Battery 2x5 kWh .....	30
Gambar 4. 5 Tampilan Weather Station Pada SCADA .....	30
Gambar 4. 6 Tampilan Smart Meter .....	31
Gambar 4. 7 Arsitektur Sistem SCADA .....	32
Gambar 4. 8 Grafik Output $E_{AC}$ dan $E_{DC}$ Pada Bulan November 2019 .....	33
Gambar 4. 9 Grafik Array Yield ( $Y_A$ ), Reference Yield ( $Y_R$ ), dan Final Yield ( $Y_F$ ) .....	33
Gambar 4. 10 Grafik <i>Performance Ratio</i> .....	34
Gambar 4. 11 Grafik Efisiensi Sistem, PV, dan Inverter .....	35
Gambar 4. 12 Grafik Faktor kapasitas .....	35
Gambar 4. 13 Grafik Capture Loss dan System Loss .....	36
Gambar 4. 14 Grafik Rata-Rata Unjuk Kerja PLTS 10 kWp .....	37

Gambar 4. 15 Sensor WS .....	38
Gambar 4. 16 (a) MDB Sebelum Ditambahkan beban AC Split, (b) MDB Setelah Ditambah beban AC Split .....	39

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. Spesifikasi modul pada kondisi STC .....	29
Tabel 2. Spesifikasi inverter on-grid SMA Sunny Tripower TL10000 .....	29
Tabel 3. Hasil Pengukuran Tegangan Pada Sensor WS.....	37
Tabel 4. Hasil Pengukuran Tegangan Saat 102 Dengan 201 Ditukar Posisi .....	38

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pertumbuhan konsumsi energi saat ini terus meningkat disertai dengan pertambahan jumlah populasi dunia ini. Terlebih lagi pada zaman ini sudah memasuki era industri 4.0 yang memicu pertumbuhan industri di segala sektor, hal ini membuat penggunaan energi akan terus meningkat. Karena dampak itu pula cadangan energi fosil yang ada di bumi ini akan terus berkurang. Oleh sebab itu, untuk mengantisipasi habisnya energi fosil yang ada di bumi ini, pemanfaatan energi terbarukan (EBT) harus lebih ditingkatkan lagi. Indonesia memiliki potensi besar dalam mengembangkan EBT, diantaranya energi bayu (angin) sebesar 950 Megawatt, tenaga surya sebesar 11 Gigawatt, tenaga air sebesar 75 Gigawatt, energi biomasa 32 Megawatt, biofuel sebesar 32 Megawatt, potensi energi laut sebesar 60 Gigawatt, dan panas bumi (Geothermal) yang diperkirakan memiliki potensi sebesar 29 Gigawatt. Pemanfaatan EBT hingga kini masih belum maksimal [1].

Banyak pulau di Indonesia diberkati dengan sumber daya energi terbarukan yang melimpah. Sumber energi terbarukan yang cukup, biaya bahan bakar minyak yang tinggi serta kekurangan energi menjadikan Indonesia sebagai tempat yang ideal untuk instalasi pembangkit terdistribusi dan jaringan kelistrikan skala kecil (micro-grid) dari sumber energi terbarukan. Namun mengintegrasikan sumber daya energi terbarukan ke dalam jaringan distribusi baik skala utility maupun micro-grid menghadapi beberapa tantangan seperti investasi awal yang besar, intermittency, masalah stabilitas, dan biaya tambahan dari proses integrasi dengan generator konvensional. Oleh karena itu diperlukan penerapan jaringan listrik cerdas (*smart grid*), yaitu jaringan kelistrikan yang menggunakan teknologi ICT (Information and Control Technology) terbaru sehingga mampu mengoptimalkan pemanfaatan pembangkit EBT pada jaringan kelistrikan yang ada.

Dikutip dari Buku II (RPJMN) 2015-2019, salah satu Prioritas Utama Nasional (PUNAS) Riset Energi yang diamanahkan kepada BPPT adalah inovasi teknologi PLTS 100 kW–2MW dan dukungan teknis industri sel-surya fotovoltaik nasional serta peningkatan kehandalan dan efisiensi sistem kelistrikan dengan teknologi smart grid dan smart micro grid[2].

Metode operasi baru pada teknologi smart micro grid yang diterapkan ini dilengkapi dengan teknologi SEMS yang memiliki keunggulan sebagai berikut:

1. Konsep kota cerdas atau smart city mengetengahkan sebuah tatanan kota yang memudahkan masyarakat untuk mendapatkan informasi secara cepat dan tepat;
2. Sebagai bagian dari kota cerdas, jaringan cerdas merupakan suatu konsep tata kelola energi listrik yang mampu mengakomodir komunikasi, respon permintaan, keamanan, jaringan mikro, dan integrasi elemen jaringan baru seperti sumber energi terbarukan;
3. Semakin meningkatnya kebutuhan masyarakat modern akan listrik, dimanapun, kapan pun dengan kualitas terbaik akan menjadikan pembangunan jaringan cerdas suatu keniscayaan. Kecanggihan dalam teknologi informasi dan komunikasi telah memungkinkan sistem kelistrikan dapat tersedia sesuai keinginan pengguna;
4. Pengkajian dan perekayasaan jaringan cerdas untuk mendukung kota cerdas dilaksanakan dengan melakukan perekayasaan beberapa fitur penerapan jaringan cerdas yang dimodelkan pada gedung energi dan beberapa gedung lainnya di Kawasan PUSPIPTEK Serpong. Fitur-fitur tersebut adalah: variasi harga (dynamic pricing), penurunan losses, manajemen distribusi atau kehandalan sistem, respon permintaan (demand response), pembangkit terdistribusi atau distributed generation (storage system), pembangkit terdistribusi atau distributed generation (PV Micro Grid), PV Grid connected, smart street lighting, PQ tools (DVR, smart meter), PQ tools (harmonic, keseimbangan beban, faktor daya) dan SCADA sistem.
5. Pada tahap pertama pengembangan jaringan cerdas, dilakukan implementasi smart micro grid dengan sumber PV 10 kWp dengan pemasangan secara rooftop, respon permintaan dan dynamic pricing.

6. Desain awal SCADA untuk mendukung implementasi smart grid for smart city di Kawasan PUSPIPTEK Serpong juga telah diberikan pada kegiatan ini.

Maka dari itu, Balai Besar Teknologi Konversi Energi (B2TKE)-BPPT melaksanakan fungsi pengkajian dan penerapan teknologi smart grid dengan memasang sistem smart grid 10 kW di atap gedung klaster energi, Kawasan PUSPIPTEK Serpong. Pemasangan sistem ini merupakan salah satu output dari kegiatan Inovasi Teknologi Smart Grid pada tahun 2017 [2].

## 1.2 Tujuan Kerja Praktek

1. Menerapkan ilmu yang telah didapat selama masa perkuliahan dan mengembangkan wawasan dan pengetahuan.
2. Memperoleh pengetahuan mengenai manajemen instansi, struktur, organisasi, standar, dan etika kerja di B2TKE BPPT (Balai Besar Teknologi Konversi Energi, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi)
3. Melahirkan sikap bertanggung jawab, disiplin, sikap mental, etika yang baik serta dapat bersosialisasi dengan lingkungan sekitar dalam lingkup dunia kerja di B2TKE BPPT (Balai Besar Teknologi Konversi Energi, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi)
4. Menumbuhkembangkan sifat kreatif-inovatif mahasiswa dalam melakukan *self-improvement* pada saat memasuki dunia kerja.
5. Menambah *network* dan *relationship* serta untuk memberikan pengetahuan baru terhadap apa yang di kerjakan didalam dunia kerja.

## 1.3 Manfaat Kerja Praktek

- 1) Bagi Mahasiswa:
  - a) Sebagai aplikasi pengetahuan atas teori yang telah diperoleh dari bangku kuliah.
  - b) Sebagai persiapan dini untuk memasuki dunia kerja sekaligus kesempatan untuk memperkaya ilmu dan memahami suatu profesi dalam dunia kerja.
  - c) Menjadi langkah awal dalam penyusunan Tugas Akhir.

- d) Proses mengenal, mempelajari, dan mencari solusi tentang berbagai permasalahan yang terjadi di dunia kerja, dengan adanya bimbingan langsung dari pihak perusahaan melalui tenaga ahli dibidang terkait.

2) Bagi Universitas:

- a) Dapat menguji sejauh mana kemampuan mahasiswa dalam mengaplikasikan teori di lapangan. Sekaligus menjadi bahan evaluasi untuk meningkatkan kurikulum di masa mendatang.
- b) Dapat menciptakan keterkaitan dan kesepadanan (*link and match*) antara perguruan tinggi dan industri sehingga tercipta kerja sama yang saling menguntungkan.

3) Bagi Perusahaan:

- a) Memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk lebih mengenal tentang perusahaannya.
- b) Sebagai sumbangsih perusahaan dalam ikut mencerdaskan kehidupan bangsa.

#### **1.4 Metode Kerja Praktek**

Metode yang digunakan dalam penulisan laporan ini yaitu metode studi pustaka, observasi atau pengamatan di lapangan secara langsung dan wawancara. Adapun data-data yang diperoleh dalam laporan ini berasal dari :

a. Studi Pustaka

Studi ini dilakukan oleh penulis dengan cara mempelajari buku-buku yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas. Dari studi ini penulis mencari keterangan yang akan dibutuhkan untuk membuat laporan dari hasil kerja praktek.

b. Pengamatan Lapangan

Studi ini dilakukan oleh penulis dengan melakukan pengamatan langsung terhadap obyek yang akan dibahas di lapangan. Dari studi ini penulis memperoleh pembahasan yang sebenarnya, sehingga dari data yang didapat digunakan untuk menyusun laporan.

c. Wawancara



Studi ini dilakukan penulis dengan melakukan tanya jawab dengan pembimbing di lapangan, sehingga apa yang tidak diketahui oleh penulis dapat ditanyakan.

d. Metode Pengumpulan Data

Berupa pengumpulan data atau informasi tertulis mengenai hal-hal yang terkait dalam penulisan laporan.

## **1.5 Waktu dan Tempat Pelaksanaan Kerja Praktek**

a. Waktu Kerja Praktek

Kegiatan kerja praktek berlangsung mulai tanggal 20 Januari 2020 sampai 29 Februari 2020.

b. Tempat Pelaksanaan Kerja Praktek

Kerja praktek dilaksanakan di Balai Besar Teknologi Konversi Energi , Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Kawasan Puspiptek, Muncul, Tangerang Selatan, Banten.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Laporan ini terdiri dari beberapa bab yang masing-masing bab membahas tentang Balai Besar Pengkajian Teknologi Konversi Energi khususnya tentang *Analisa Performa PV Rooftop 10 kWp Berbasis Smart Grid Di Gedung Energi B2TKE-BPPT*. Laporan ini disusun sedemikian rupa sehingga masalah yang terkait dengan masalah lainnya.

Secara garis besar sistematika penulisannya adalah sebagai berikut :

1. Bab I. PENDAHULUAN

Pada bab ini dijelaskan tentang hal-hal yang melatarbelakangi kerja praktek, maksud dan tujuan, manfaat, metode pengambilan data, waktu dan tempat kerja praktek serta sistematika penulisan laporan.

2. Bab II. PROFIL PERUSAHAAN

Pada bab ini dijelaskan tentang sejarah perusahaan, logo, visi dan misi, tujuan perusahaan, unit kerja serta struktur organisasi perusahaan.

3. Bab III. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menjelaskan tentang panel surya, macam-macam inverter, dan parameter unjuk kerja sistem PLTS.

4. Bab IV. PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan tentang sistem PLTS yang ada serta Analisa performa dari sistem PLTS.

#### 5. Bab V. PENUTUP

Pada bab ini menjelaskan tentang kesimpulan dan saran dari laporan kerja praktek yang telah dibuat oleh penulis.

## **BAB II**

### **PROFIL PERUSAHAAN**

#### **2.1 Gambaran Umum Balai Pengkajian dan Penelitian Teknologi (BPPT)**

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) adalah Lembaga Pemerintah Non-Kementerian yang berada dibawah koordinasi Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang mempunyai tugas melaksanakan tugas pemerintahan di bidang pengkajian dan penerapan teknologi.

Proses pembentukan BPPT bermula dari gagasan Presiden RI ke-2, Soeharto kepada Prof Dr. Ing. B.J. Habibie pada tanggal 28-Januari-1974. Dengan surat keputusan no. 76/M/1974 tanggal 5-Januari-1974, Prof Dr. Ing. B.J. Habibie diangkat sebagai penasehat pemerintah di bidang advance teknologi dan teknologi penerbangan yang bertanggung jawab langsung pada presiden dengan membentuk Divisi Teknologi dan Teknologi Penerbangan (ATTP) Pertamina.

Melalui surat keputusan Dewan Komisaris Pemerintah Pertamina No.04/Kpts/DR/DU/1975 tanggal 1 April 1976, ATTP diubah menjadi Divisi Advance Teknologi Pertamina. Kemudian diubah menjadi Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi melalui Keputusan Presiden Republik Indonesia No.25 tanggal 21 Agustus 1978. Diperbaharui dengan Surat Keputusan Presiden No.47 tahun 1991.

BPPT memiliki 34 Pusat/Balai Litbang di Kawasan PUSPIPTEK. Pusat/Balai Litbang tersebut berada di bawah Kedeputian Pengkajian Kebijakan Teknologi, Kedeputian Teknologi Pengembangan Sumber Daya Alam, Kedeputian Teknologi Agroindustri dan Biteknologi, Kedeputian Teknologi Informasi, Energi, dan Material, serta Kedeputian Teknologi Industri Rancang Bangun dan Rekayasa [3].

## 2.2 Logo Perusahaan



Gambar 2. 1 Logo BPPT

Sumber : BPPT

a. Bentuk Lambang

Penjelasan dan Falsafah logo BPPT Logo BPPT terdiri dari 2 elemen yang menyatu dan terbentuk atas dasar tiga warna (biru, merah dan hitam) yang masing-masing mempunyai pengertian tertentu.

b. Elemen Pertama

Elemen pertama terdiri dari tulisan "BPPT" sebagai inti dari logo yang menjelaskan secara langsung "Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi"

c. Elemen Kedua

Elemen kedua adalah bentuk elips/oval yang merupakan simbol dari teknologi/ilmu pengetahuan sebagai pusat kegiatan BPPT.

d. Warna Biru

Mempunyai pengertian akan ketuhanan sebagai kekuasaan tertinggi, kesetiaan, kebenaran, kearifan/kebijaksanaan, kedamaian, kemurnian/kebersihan dan suatu pemikiran/perenungan

e. Warna Merah

Simbol dari suatu kegiatan/aktivitas, tenaga/kekuatan yang menghasilkan sesuatu. Warna Merah juga memberikan suatu sentuhan untuk menambah daya tarik logo dan kesederhanaannya.

f. Warna Hitam

Mempunyai pengertian akan kekuatan, keteguhan dan wibawa secara langsung memperkuat citra BPPT.

## **2.3 Visi dan Misi Perusahaan**

Untuk menunjang tujuan dari perusahaan, B2TKE memiliki visi dan misi sebagai berikut :

### **2.3.1 Visi**

Menjadi pusat unggulan inovasi serta layanan teknologi kelistrikan dan konversi energi dengan mengutamakan kemitraan yang berkualitas.

### **2.3.2 Misi**

Mensinergikan dan memanfaatkan hasil pengkajian dan penerapan teknologi di bidang teknologi kelistrikan dan konversi energi untuk :

1. Memberikan pelayanan publik yang berkualitas;
2. Meningkatkan daya saing industri nasional;
3. Meningkatkan kemandirian bangsa.

## **2.4 Tujuan Perusahaan**

B2TKE mempunyai tugas melaksanakan kegiatan pelayanan teknologi konversi energi. Dalam melaksanakan tugas sebagaimana dimaksud, B2TKE menyelenggarakan fungsi:

1. Melakukan pelayanan teknologi di bidang kelistrikan dan konversi energi;
2. Melaksanakan koordinasi dan penyusunan program dan kerjasama teknologi kelistrikan dan konversi energi;
3. Melaksanakan pengujian, penerapan, dan penyebarluasan teknologi kelistrikan dan konversi energi; dan
4. Melaksanakan urusan ketatausahaan, perencanaan, keuangan, sumber daya manusia, rumah tangga, dan pelaporannya serta pengelolaan Techno Park dibidang energi.

## **2.5 Sejarah Balai Besar Teknologi Konversi Energi (B2TKE)**

Balai Besar Teknologi Konversi Energi dengan nama singkat B2TKE adalah suatu satuan kerja eselon 2 di lingkungan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) yang berada di bawah Deputi Kepala BPPT Bidang Teknologi Informasi, Energi, dan Material (TIEM).

Perjalanan B2TKE dimulai pada tahun 1979. Pada saat itu Direktorat Pengembangan Teknologi - suatu satuan kerja eselon 2 di lingkungan BPP Teknologi (singkatan resmi BPPT pada saat itu), dengan Ir. Harsono Djuned Puspongoro sebagai direktur, melakukan rintisan kegiatan yang berkaitan dengan rencana pembentukan Unit Pelaksana Teknis - Laboratorium Sumber Daya Energi (UPT-LSDE). Kegiatan tersebut dilakukan oleh Tim Pengembangan Laboratorium Sumber Daya Energi di bawah kepemimpinan Dr. Sudjana Sapii.



Gambar 2. 2 Prasasti Peresmian

Pada tahun tersebut di atas telah dimulai kegiatan penelitian dan pengembangan teknologi konversi energi di lingkungan BPP Teknologi, terutama di bidang energi terbarukan, antara lain energi surya dan limbah biomassa (kayu dan sekam padi). Kegiatan ini dilaksanakan bekerja sama dengan Pemerintah Republik Federal Jerman (RFJ) melalui Kantor Menteri Riset dan Teknologi (Bundesministerium für Forschung und Technologie/BMFT). Selanjutnya pada tahun 1980 dimulai penelitian teknologi fotovoltaik, tenaga panas surya, fermentasi, serta gasifikasi kayu dan sekam padi.

Kemudian, pada tanggal 2 Agustus 1982 ditandatangani suatu persetujuan bantuan dari Pemerintah Amerika Serikat dalam bentuk pinjaman lunak (soft loan) dan hibah (grant). Bantuan ini dimaksudkan untuk mendirikan UPT-LSDE sebagai institusi dan laboratorium yang bergerak di bidang teknologi energi di

lingkungan BPP Teknologi, lengkap dengan organisasi, program pengembangan teknologi dan sumberdaya manusia, serta pengadaan perangkat keras untuk penelitian (pembakaran batubara).

Pada tahun yang sama terjadi reorganisasi pada BPP Teknologi. Perubahan organisasi berdasarkan Keputusan Presiden Republik Indonesia (Keppres) Nomor 31 Tahun 1982, tanggal 28 Agustus 1982, antara lain Direktorat Pengembangan Teknologi ditingkatkan menjadi satuan kerja eselon 1 dengan nama Deputi Ketua BPP Teknologi Bidang Pengembangan Teknologi. Satuan kerja eselon 2 di bawahnya antara lain Direktorat Teknologi Konversi dan Konservasi Energi dengan sebutan singkat Dit. PT-KKE dipimpin oleh Dr. L.M. Panggabean sebagai direktur.

Pada tahun 1984, sehubungan dengan tugas baru yang diemban Dr. Sudjana Sapii, maka pimpinan Tim Pengembangan Laboratorium Sumber Daya Energi diserahkan kepada Dr. L.M. Panggabean yang kemudian menyelesaikannya. Pada tanggal 24 Februari 1987 proyek LSDE secara resmi dinyatakan menjadi UPT-LSDE – sebuah satuan kerja eselon 2 - berdasarkan Surat Keputusan (SK) Menteri Negara Riset dan Teknologi (Menristek)/Ketua BPP Teknologi No.SK/046/KA/BPPT/ II/1987. Dr. L.M Panggabean menjabat sebagai Kepala UPT-LSDE merangkap sebagai Direktur PT-KKE.

Pengembangan menuju sebuah institusi UPT-LSDE dilaksanakan dengan bantuan Konsultan Battelle Memorial Institute dari Columbus, Ohio, Amerika Serikat, yakni dalam hal pembuatan Master Plan yang memuat struktur organisasi, pengembangan personalia, pengembangan teknologi, dan sarana penelitian.

Pembangunan sarana penelitian dilakukan bekerjasama dengan berbagai institusi. Dengan TÜV (Technischer Überwachungsvereine, Rheinland, Jerman) di bidang fotovoltaik, panas surya, gasifikasi biomassa, dan stasiun cuaca. Dengan NEDO (New Energy and Industrial Technology Development, Jepang) di bidang fotovoltaik. Dengan British Petroleum (BP) Solar di bidang fotovoltaik. Dengan R & S (Renewable Energy System) Eindhoven (Belanda) di bidang fotovoltaik. Kerjasama dengan USAID (United States Agency for International Development, Amerika Serikat) melalui Battelle Memorial

Institute, Olympic Associates, Combustion Engineering International, IDEA, PT Rabana, dan PT Wifgasindo Instrument Engineering dilakukan di bidang teknologi gasifikasi unggun terfluidakan, teknologi pembuatan etanol dari sagu, teknologi pembakaran batubara, dan perlengkapan laboratorium kimia analitik.

Dengan GTZ (Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, Jerman), kerjasama dilakukan di bidang fotovoltaiik, khususnya dalam rangka pengkajian tekno-ekonomi dan pemasyarakatan sistem pompa air fotovoltaiik di tempat terpencil. Sedangkan di bidang konservasi energi, kerjasama dilakukan dengan Masyarakat Eropa.



Gambar 2. 3 B2TKE-BPPT

Pengembangan sarana fisik dilaksanakan oleh PUSPIPTEK (Pusat Penelitian Ilmu Pengetahuan dan Teknologi) yang meliputi gedung perkantoran, ruang laboratorium, bangunan bubung tinggi (high bay) untuk penelitian karakteristik batubara, serta lapangan terbuka untuk penelitian dan pengujian sistem-sistem fotovoltaiik dan tenaga panas surya.

Fasilitas penelitian dan pengujian UPT-LSDE semakin lengkap, meliputi pengujian kualitas daya listrik, audit dan konsultasi konservasi energi, kinerja peralatan pengkonversi energi, sistem fotovoltaiik, pompa air tenaga surya (solar thermal pump/STP), pengering tenaga surya, kolektor panas surya (solar collector), pembakaran batubara, gasifikasi biomassa, dan analisa kimia batubara. Di samping itu, terdapat pula fasilitas penunjang, misalnya jaringan komputer lokal (local area network/LAN), perpustakaan, dan bengkel.



Pada tanggal 21 April 2004 kembali dilakukan reorganisasi di lingkungan BPPT (sejak tahun 1998 singkatan resmi BPP Teknologi diubah menjadi BPPT yang dipimpin oleh seorang kepala bukan lagi ketua) dan UPT-LSDE berganti nama menjadi Balai Besar Teknologi Energi disingkat B2TE berdasarkan SK Kepala BPPT Nomor 047/Kp/KA/IV/2004. B2TE mempunyai tugas melaksanakan pengkajian, pengujian, pengembangan, penerapan dan penyebarluasan teknologi energi yang efisien, handal, dan berwawasan lingkungan.

Setelah 11 tahun lebih B2TE melaksanakan tugas dan fungsinya, pada menjelang penghujung tahun 2015 BPPT kembali melakukan reorganisasi terhadap beberapa satuan kerjanya, termasuk B2TE. Terhitung mulai tanggal 09 November 2015 B2TE resmi berganti nama menjadi B2TKE atau Balai Besar Teknologi Konversi Energi berdasarkan Peraturan Kepala BPPT Nomor 012 Tahun 2015, yang ditetapkan pada tanggal 19 Oktober 2015 dan diundangkan pada tanggal 09 November 2015 [4].

## 2.6 Struktur Organisasi Perusahaan

Manajemen B2TKE terdiri atas Pejabat Struktural mulai dari Eselon II sampai Eselon IV dan kelompok jabatan fungsional sesuai Perka BPPT No 012 Tahun 2015. B2TKE terdiri atas :

### a. Bagian Umum

Bagian Umum mempunyai tugas melaksanakan urusan ketatausahaan, perencanaan, keuangan, sumber daya manusia, rumah tangga, dan pelaporannya. Bagian Umum terdiri atas :

- Subbag Tata Usaha, Sumber Daya Manusia dan Rumah Tangga
- Subbag Program dan Keuangan

### b. Bidang Layanan Jasa Teknologi

Bidang Layanan Jasa Teknologi mempunyai tugas melaksanakan pelayanan teknologi di bidang kelistrikan dan konversi energi. Bidang Layanan Jasa Teknologi terdiri atas :

- Subbag Layanan Jasa
- Subbag Pengelolaan *Techno Park* Energi

c. Bidang Teknologi Kelistrikan

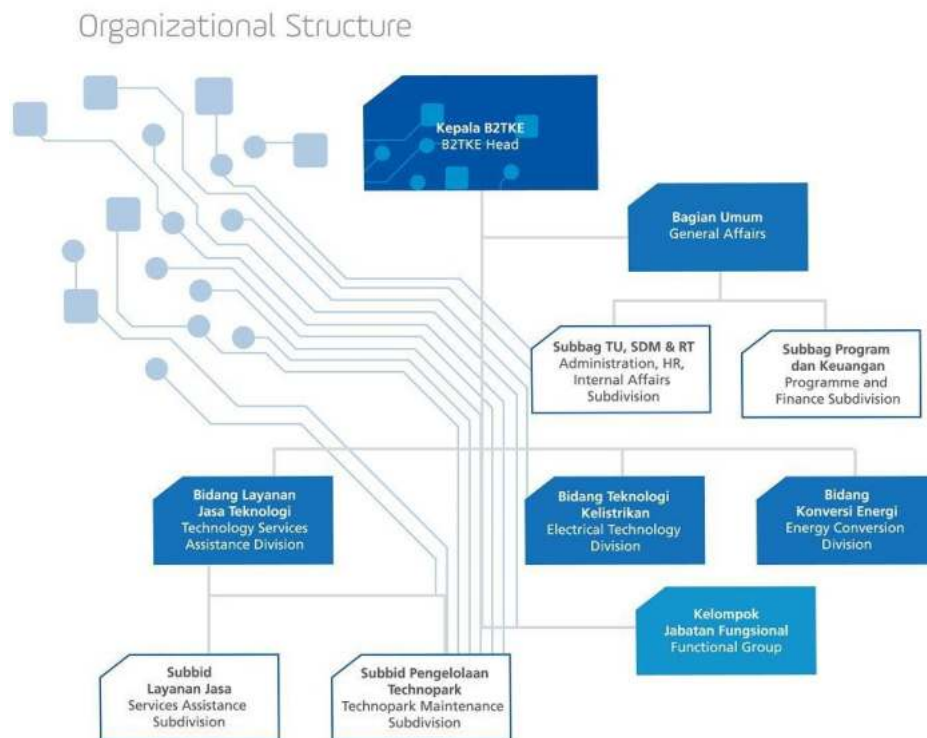
Bidang Teknologi Kelistrikan mempunyai tugas melaksanakan pengujian, penerapan dan difusi, serta koordinasi kegiatan bidang energi kelistrikan.

d. Bidang Konversi Energi

Bidang Konversi Energi mempunyai tugas melaksanakan penerapan, pengujian, difusi, dan koordinasi kegiatan di bidang konversi energi.

e. Kelompok Jabatan Fungsional

Kelompok Jabatan Fungsional mempunyai tugas melakukan kegiatan sesuai dengan jabatan fungsional masing- masing berdasarkan peraturan perundang-undangan.



Gambar 2. 4 Struktur Organisasi B2TKE

## 2.7 Unit Kerja B2TKE

a. Smart Grid

Pembangunan PLTS Bilacenge merupakan langkah awal dari upaya untuk mengadopsi dan menguasai teknologi smart grid di Indonesia. Perencanaan dan pembangunan pilot proyek ini telah dimulai sejak tahun 2011, yang berkorelasi dengan program PLN yang menjadikan Sumba sebagai pulau ikonik energi

terbarukan (*iconic island of renewable energy*) sejak 2009. Program ini juga diperkuat dengan Keputusan Menteri ESDM No. 3051/K/MEM/2015 yang menargetkan ketersediaan EBT di Sumba mencapai 95% sampai 2020.

Pada tahap awal pembangunan, PLTS Bilacenge memiliki kapasitas PV 500kWp, sistem penyimpanan energi VRB (Vanadium Redox Battery) 500 kWh, dan sub sistem smart genset kapasitas 2x135kVA, yang terhubung dan terkontrol dalam sistem komunikasi dan SCADA. Dalam perjalanannya, rusaknya sistem fluida pada baterai menyebabkan sub sistem baterai VRB belum bisa difungsikan sebagai kompensator sistem PV. Ketergantungan PLTS terhadap matahari membuat daya output bisa berubah menurun drastis, yaitu saat munculnya awan sehingga menghalangi sinar matahari ke permukaan modul PV. Smart genset sebagai kompensator fluktuasi daya untuk pV pun tidak mampu mengkompensasi secara cepat. Hal ini menyebabkan penetrasi PV ke grid PLN dibatasi sebesar 30% dari kapasitas maksimalnya (atau sekitar 150kW) agar stabilitas jaringan tetap terjaga.



Gambar 2. 5 Skematik Sistem Smart Micro Grid di Kab. Sumba Barat Daya

Sampai dengan tahun 2017, sistem PLTS Bilacenge telah beberapa kali dilakukan *maintenance* berupa pencucian modul, perbaikan re-wiring, dan penggantian komponen. BPPT bersama dengan Kyudenko Jepang telah meng-*upgrade* sistem PLTS Bilacenge dengan menambahkan baterai bank berupa lead-acid berkapasitas 200 kWh dan *power conditioning unit* (PCU) beserta sistem kontrol dan monitoring *real-time* berupa *energy monitoring system*

(EMS) sehingga dapat dimonitor dari Jakarta dan Jepang. EMS memainkan peranan yang penting dalam skema pengontrolan sistem smart microgrid PLTS Bilacenge yang baru, karena dilengkapi dengan fungsi pengumpulan data berupa *smart meter control* (SMC), *smart power manager* (SPM), dan *battery monitoring unit* (BMU). SMC bertugas memberikan data status energi suplai dan demand ke EMS serta mengontrol input dan output ke beban berdasarkan perintah SMC. BMU bertanggung jawab terhadap status baterai lead-acid serta mengendalikan *charging* dan *discharging* agar umur baterai bisa lebih dari 10 tahun. SPM secara otomatis mengontrol arus hasil pembangkitan dan mengurangi losses konversi DC/AC.

Skema daya dari PV yang masuk ke jaringan PLN pun telah diubah, yaitu stabil di 200kW selama 5 jam, sehingga total daya perhari yang dibangkitkan PLTS Bilacenge ke jaringan 20kV sudah mencapai 1 MW. Daya ini diperoleh dari output dua grup PV dengan kapasitas masing-masing grup sebesar 2x100 kW dan baterai sebagai kompensator yang mendapatkan daya input dari satu grup modul PV 100kW lainnya. Arus yang dihasilkan oleh masing-masing grup PV distabilkan untuk menghasilkan arus DC sebesar 380V dengan menggunakan PV converter 25kW. Arus yang akan masuk ke baterai atau inverter dikontrol oleh SPM. Kelebihan daya dari masing-masing grup PV akan otomatis disimpan dalam baterai. Skema seperti ini masih berlangsung sampai sekarang dengan total daya yang telah dihasilkan mencapai 1GW dan tidak mempengaruhi kestabilan jaringan.

b. Geothermal Power



Gambar 2. 6 PLTP Kamojang, Garut, Jawa Barat

Dalam rangka mendukung program prioritas nasional dalam bidang kelistrikan, BPPT menyiapkan inovasi teknologi rancang bangun Pembangkit Listrik Panas Bumi (PLTP) skala kecil. dalam skala nasional hasil inovasi teknologi PLTP ini dapat mengganti hingga total 300 Mega Watt (MW) PLTD, utamanya PLTD yang terletak di beberapa propinsi di bagian Indonesia Timur. Inovasi ini dikembangkan dengan menggunakan konsep teknologi Condensing Turbine dan Binary Cycle dengan memanfaatkan komponen dalam negeri secara maksimal. Dengan adanya inovasi ini, bahan bakar minyak (BBM) yang biasa dipakai dalam PLTD pun akan mampu dihemat. Bahkan potensi penghematannya bisa mencapai Rp 1 triliun per tahun, sesuai dengan nilai yang dikeluarkan pemerintah untuk membeli BBM bagi PLTD.

Saat ini BPPT telah berhasil membangun pilot plant PLTP kapasitas 3 MW tipe Condensing Turbine di lapangan panasbumi Kamojang, Garut, dan PLTP 50 Kilo Watt (KW) tipe Binary Cycle di lapangan Lahendong, Sulawesi Utara, yang berfungsi sebagai percobaan dan percontohan PLTP Skala Kecil.

#### c. Baron Techno Park

Sejak tahun 2010, BPPT telah membangun “Baron Teknopark” sebagai pusat penelitian dan pengembangan teknologi energi terbarukan yang juga dipergunakan sebagai sarana diseminasi IPTEK Energi Terbarukan karena daerah tersebut mempunyai potensi SDE terbarukan (surya, bayu, biomass, energi laut dll) yang besar. Pengembangan Kawasan Baron Teknopark telah dintegrasikan dengan Kawasan “Agro Teknopark” (ATP) dan Pengembangan Pantai wisata Baron.

Baron Teknopark dikembangkan dan difungsikan sebagai Institute Energi Baru Terbarukan untuk memberikan layanan Alih Teknologi, Rekomendasi, Konsultansi, Pembuatan DED, Design Review and Approval, Commissioning Test, Inspection & Certification, Laboratoriun Alam untuk Uji Performansi sistem kelistrikan EBT dan Inkubator Teknologi

Melihat fungsinya BTP (Baron TechnoPark) saat ini berada di bawah koordinasi Bidang Layanan Jasa Teknologi pada satuan kerja B2TKE BPPT

Pembangkit listrik yang dikembangkan di Baron Technopark adalah Sistem PLTH (Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida) dapat menghasilkan listrik yang dibangkitkan dari energi sinar matahari, angin, dan mesin diesel.

d. Lab Inovasi

Balai Besar Teknologi Konversi Energi mempunyai beberapa laboratorium dan pilot plant untuk inovasi ataupun pengkajian.

- Teknologi Kelistrikan

Bidang Teknologi Kelistrikan mempunyai tugas melaksanakan pengujian, penerapan dan difusi, serta koordinasi kegiatan bidang energi kelistrikan.

Beberapa laboratorium pada Bidang Teknologi Kelistrikan yaitu:

1. Laboratorium Optimasi Sistem Pembangkit Energi Terbarukan,
2. Laboratorium Elektronika Daya (Power Electronics),
3. Laboratorium Sistem Ketenagalistrikan (Power System),
4. Laboratorium Mikroelektronika untuk Sistem Kelistrikan,
5. Laboratorium SCADA untuk Smart Grid,
6. Laboratorium Kualitas Daya (Power Quality), dan
7. Laboratorium Tegangan Tinggi Arus Searah.

- Konversi Energi

Bidang Konversi Energi mempunyai tugas melaksanakan penerapan, pengujian, difusi, dan koordinasi kegiatan di bidang konversi energi.

Beberapa pilot plant dan laboratorium pada Bidang Konversi Energi yaitu:

1. Pilot Plant PLTP Condensing System,
2. Pilot Plant PLTP Binary Cycle,
3. Laboratorium Desain dan Optimasi Energi, dan
4. Laboratorium Penelitian Fuel Cell.

## BAB III

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 3.1 Panel Surya

##### 3.1.1 Mekanisme Konversi Energi Panel surya

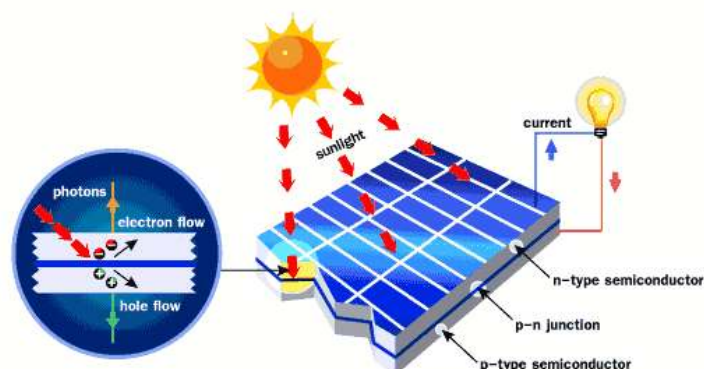
Mekanisme konversi energi cahaya terjadi akibat adanya perpindahan elektron bebas di dalam suatu atom. Kemampuan transfer elektron dari suatu material terletak pada banyaknya elektron valensi dari suatu material. Sel surya pada umumnya menggunakan material semikonduktor sebagai penghasil elektron bebas. Material semikonduktor adalah padatan (solid) dan seperti logam, konduktifitas elektriknya juga ditentukan oleh elektron valensinya. Namun, berbeda dengan logam yang konduktifitasnya menurun dengan kenaikan temperatur, material semikonduktor konduktifitasnya akan meningkat secara signifikan.

Ketika foton dari suatu sumber cahaya menumbuk suatu elektron valensi dari atom semikonduktor, hal ini mengakibatkan suatu energi yang cukup besar untuk memisahkan elektron tersebut terlepas dari struktur atomnya. Elektron yang terlepas tersebut menjadi bebas bergerak di dalam bidang kristal dan elektron tersebut menjadi bermuatan negatif dan berada pada daerah pita konduksi dari material semikonduktor.

Sementara itu, akibat hilangnya elektron mengakibatkan terbentuknya suatu kekosongan pada struktur kristal yang disebut dengan “*hole*” dan bermuatan positif. Daerah semikonduktor dengan elektron bebas dan bersifat negatif bertindak sebagai donor elektron. Daerah ini disebut *negative type (n-type)*. Sedangkan daerah semikonduktor dengan *hole*, bersifat positif dan bertindak sebagai penerima (*acceptor*) elektron. Daerah ini disebut dengan *positive type (p-type)*.

Ikatan dari kedua sisi positif dan negatif (*p-n junction*) menghasilkan energi listrik internal yang akan mendorong elektron bebas dan *hole* untuk bergerak ke arah yang berlawanan. Elektron akan bergerak menjauhi sisi negatif, sedangkan *hole* akan bergerak menjauhi sisi positif. Ketika *p-n*

*junction* ini dihubungkan dengan sebuah beban maka akan tercipta sebuah arus listrik[5].



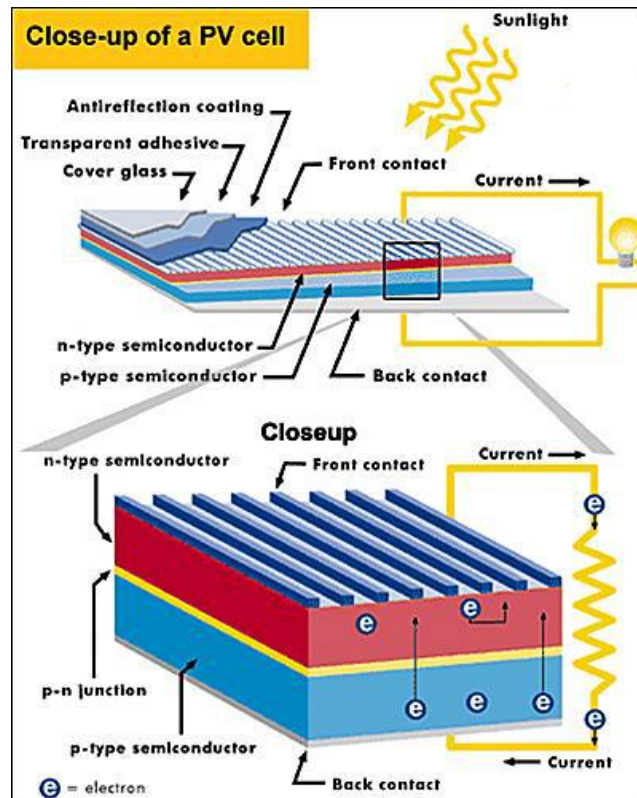
Gambar 3. 1 Skema Solar Cell [14]

### 3.1.2 Struktur Umum Sel Surya

Struktur inti dari sel surya pada umumnya terdiri dari satu atau lebih jenis material semikonduktor dengan dua daerah yang berbeda yaitu daerah positif dan negatif. Dua sisi yang berlainan ini berfungsi sebagai elektroda. Untuk menghasilkan dua daerah muatan yang berbeda umumnya digunakan *dopant* dengan golongan periodik yang berbeda. Hal ini bertujuan agar *dopant* pada daerah negatif akan berfungsi sebagai pendonor elektron, sedangkan *dopant* pada daerah positif berfungsi sebagai *acceptor* elektron.

Pada solar sel konvensional digunakan material silikon (golongan IV) sebagai semikonduktor. Untuk menghasilkan dua muatan yang berbeda, maka pada satu sisi diberi *dopant* dari golongan periodik V yang mempunyai elektron valensi lima. Hal ini mengakibatkan silikon mempunyai kelebihan elektron (*n-type*). Sedangkan pada sisi yang berlainan digunakan *dopant* dari golongan periodik III yang mengakibatkan silikon kekurangan elektron (*p-type*). Dikarenakan untuk membentuk suatu struktur yang stabil dibutuhkan empat elektron, maka kekurangan satu elektron akan didapatkan dari donor *n-type* [5].





Gambar 3. 2 Struktur Solar Panel [5]

### 3.1.3 Jenis Panel Surya

Panel surya terbagi menjadi beberapa jenis berdasarkan material yang digunakan bisa dijelaskan sebagai berikut:

#### a. Monokristal (*Mono-crystalline*)

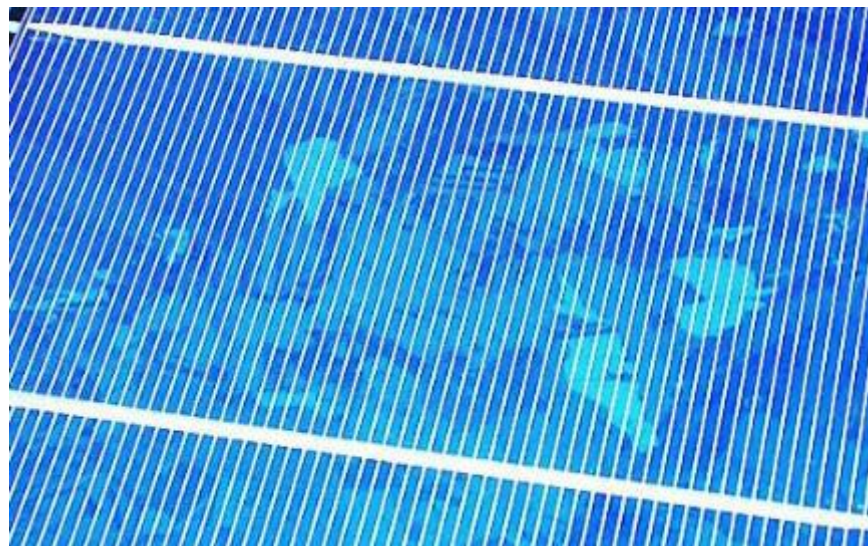
Merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini & menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi. Monokristal dirancang untuk penggunaan yang memerlukan konsumsi listrik besar pada tempat-tempat yang beriklim ekstrim dan dengan kondisi alam yang sangat ganas. Memiliki efisiensi sampai dengan 15%. Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi baik ditempat yang cahaya matahari kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan [6].



Gambar 3. 3 Panel Surya Monocrystalline Silicon [15]

b. Polikristal (*Poly-Crystalline*)

Merupakan Panel Surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel suraya jenis ini memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah [6].



Gambar 3. 4 Panel Surya Polychrytalline Silicon [15]

c. *Thin Film Photovoltaic*

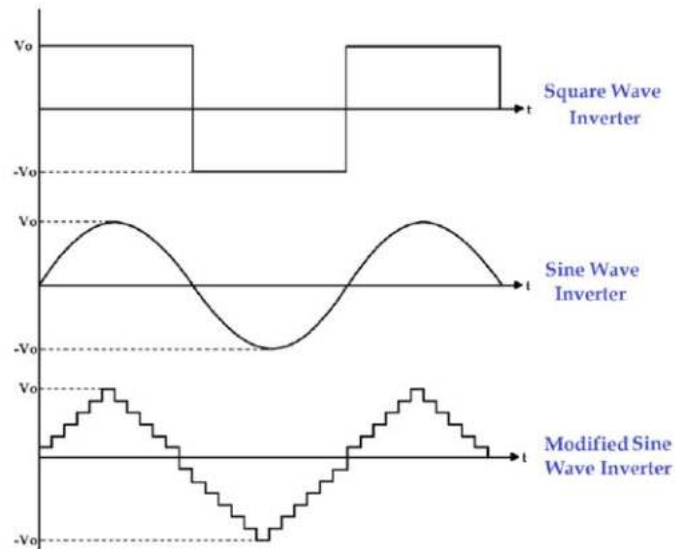
Merupakan Panel Surya (dua lapisan) dengan struktur lapisan tipis mikrokristal-silicon dan amorphous dengan efisiensi modul hingga 8.5% sehingga untuk luas permukaan yang diperlukan per watt daya yang dihasilkan lebih besar daripada monokristal & polykristal. Inovasi terbaru adalah *Thin Film Triple Junction Photovoltaic* (dengan tiga lapisan) dapat berfungsi sangat efisien dalam udara yang sangat berawan dan dapat menghasilkan daya listrik sampai 45% lebih tinggi dari panel jenis lain dengan daya yang ditera setara [6].



Gambar 3. 5 *Thin Film Photovoltaic* [15]

### 3.2 Inverter

Inverter adalah rangkaian yang mengubah tegangan DC menjadi AC. Atau lebih tepatnya inverter memindahkan tegangan dari sumber DC ke beban AC. Sumber tegangan inverter dapat berupa baterai, Panel Surya maupun sumber tegangan DC lainnya. Berdasarkan gelombang keluaran yang dihasilkan, inverter dapat dibagi menjadi 3 macam yaitu *square wave*, *modified sine wave*, dan *pure sine wave*



Gambar 3. 6 Perbedaan Keluaran Inverter [16]

### 3.2.1 *Square Wave*

Inverter ini adalah yang paling sederhana. Walaupun inverter jenis ini dapat menghasilkan tegangan 220V AC, 50 Hz namun kualitasnya sangat buruk. Sehingga hanya dapat digunakan pada beberapa alat listrik saja. Hal ini disebabkan karena karakteristik output inverter ini adalah memiliki level *total harmonic distortion* yang tinggi [6].

### 3.2.2 *Pure Sine Wave*

*Pure Sine Wave* atau *true sine wave* merupakan gelombang inverter yang hampir menyerupai gelombang sinusoida sempurna, Dengan *total harmonic distortion* (THD) < 3%. Sehingga cocok untuk semua alat elektronika. Oleh sebab itu inverter ini juga disebut *clean power supply*. Teknologi yang digunakan inverter jenis ini umumnya disebut *pulse width modulation* (PWM) yang dapat mengubah tegangan DC menjadi AC dengan bentuk gelombang yang hampir sama dengan gelombang sinusoida [6].

### 3.2.3 *Modified Sine Wave*

*Modified Sine Wave* disebut juga *Modified Square Wave* atau *Quasy Sine Wave* karena gelombang *modified sine wave* hampir sama dengan *square wave*, namun pada *modified sine wave* outputnya menyentuh titik 0 untuk beberapa saat sebelum pindah ke positif atau negatif. Selain itu karena *modified sine wave* mempunyai *harmonic distortion* yang lebih sedikit

dibanding *square wave* maka dapat dipakai untuk beberapa alat listrik seperti komputer, tv dan lampu. Namun tidak bisa untuk beban-beban yang lebih sensitif [6].

### 3.3 Parameter Unjuk Kerja PLTS

#### 3.3.1 Array Yield ( $Y_A$ )

Hasil *array* atau *array yield* merupakan rasio keluaran energi harian, bulanan, atau tahunan dari arus searah (DC) yang keluar dari *array PV* ke kekuatan *array PV* terukur. *Array yield* didapatkan dari rumus dibawah ini [7].

$$Y_A = \frac{E_{DC}}{P_{PV}} \quad (1)$$

Dimana  $E_{DC}$  adalah output energi DC dari *array PV* (kWh) dan  $P_{PV}$  merupakan daya dari sistem PV (kWp)

#### 3.3.2 Final Yield ( $Y_F$ )

Hasil akhir atau *final yield* dapat didefinisikan sebagai total energi AC selama periode tertentu dibagi dengan kekuatan array PV [8].

$$Y_F = \frac{E_{AC}}{P_{PV}} \quad (2)$$

Dimana  $E_{AC}$  merupakan total output energi AC dari inverter yang dihasilkan pada periode tertentu (kWh).

#### 3.3.3 Reference Yield ( $Y_R$ )

Hasil referensi adalah rasio total radiasi matahari yang masuk ke dalam PV. Rumus dari hasil referensi dapat dijabarkan sebagai berikut [7,8].

$$Y_R = \frac{S_R}{H_R} \quad (3)$$

Dimana  $S_R$  merupakan total radiasi yang masuk ke PV ( $\text{kWh/m}^2$ ) dan  $H_R$  adalah referensi *array irradiance* di STC ( $1 \text{ kWh/m}^2$ ).

#### 3.3.4 Performance Ratio (PR)

*Performance ratio* adalah energi total yang dihasilkan oleh sistem PV. Rasio kinerja menunjukkan rugi-rugi pada saat pengubahan daya DC menjadi AC. Oleh karena itu, dia mempresentasikan energi yang tersedia sebenarnya setelah dikurangi dengan energi yang hilang (*losses*) [9,10,11].

$$PR = \frac{Y_F}{Y_R} \quad (4)$$

### 3.3.5 Efisiensi Modul PV

Efisiensi modul PV dapat dihitung dengan rumus seperti dibawah ini [7].

$$\eta_{PV} = \frac{E_{DC}}{S_R A_{PV}} \times 100\% \quad (5)$$

Dimana  $A_{PV}$  merupakan luas area dari modul PV ( $m^2$ ).

### 3.3.6 Efisiensi Sistem PV

Efisiensi sistem PV dapat dihitung dengan rumus seperti dibawah ini [7].

$$\eta_s = \frac{E_{AC}}{S_R A_{PV}} \times 100\% \quad (6)$$

### 3.3.7 Efisiensi Inverter

Efisiensi inverter didapatkan dari rumus dibawah ini [7].

$$\eta_{inv} = \frac{E_{AC}}{E_{DC}} \times 100\% \quad (7)$$

### 3.3.8 Array Capture Loss ( $L_C$ )

*Array capture loss* disebabkan oleh rugi-rugi *array* PV, *array capture loss* didapatkan dari rumus dibawah ini [7,8].

$$L_C = Y_R - Y_A \quad (8)$$

### 3.3.9 System Loss ( $L_s$ )

*System Loss* disebabkan oleh ketidakefisiensian dari inverter dan dapat dihitung dengan rumus dibawah ini [7,8].

$$L_S = Y_A - Y_F \quad (9)$$

### 3.3.10 Faktor Kapasitas (CF)

Faktor kapasitas merupakan rasio dari keluaran energi aktual dalam periode tertentu dengan keluaran jika beroperasi pada daya nominal selama periode tertentu. CF dapat dihitung dengan rumus dibawah ini [12].

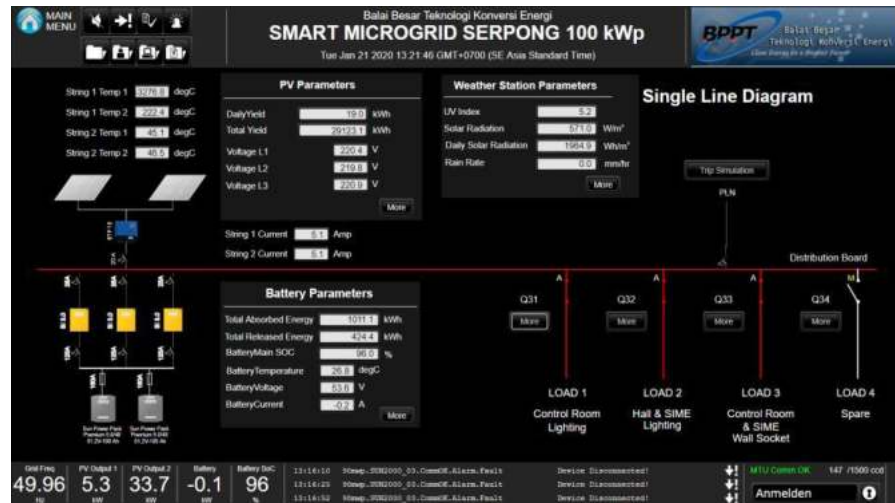
$$CF = \frac{Y_F}{8760} \quad (10)$$

## BAB IV

### PEMBAHASAN

#### 4.1 Sistem PLTS Berbasis Smart Grid

##### 4.1.1 *Single Line Diagram* PLTS Rooftop



Gambar 4. 1 *Single Line Diagram* PV Rooftop Gedung Energi

Gambar 4.1 merupakan gambar *single line diagram* yang ada di PV Rooftop Gedung Energi B2TKE-BPPT. Berdasarkan SLD tersebut dapat dilihat bahwa aliran listrik berawal dari 2 string PV dengan masing masing terdiri dari 20 modul. Kemudian output dari PV akan masuk ke inverter SMA Sunny Tripower TL10000 untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Setelah diubah menjadi AC maka aliran listrik akan melewati jaringan PLN dan akan langsung menuju ke beban serta akan masuk ke sistem hybrid inverter yang terdiri dari 3 inverter SMA Sunny Island 3.0 M untuk masing-masing fasa untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC sehingga listrik dapat disimpan kedalam dua baterai Lithium-Ion Hoppecke Sun Power Pack Premium dengan masing-masing berkapasitas 5 kWh.



#### 4.1.2 Sistem PLTS dan On-Grid Inverter



Gambar 4. 2 Inverter SMA Sunny Tripower TL10000



Gambar 4. 3 PV Rooftop 10 kWp

Sistem PLTS Rooftop yang berkapasitas 10 kWp memiliki 40 unit modul surya Canadian Solar tipe CS6p-265P dengan daya nominal 265 Wp. Modul surya tipe ini memiliki spesifikasi seperti yang ditunjukkan oleh tabel 1. Susunan panel surya dibagi menjadi 2 string dengan masing-masing string terdiri atas 20 modul. PLTS Rooftop ini bekerja pada tegangan operasi 600 Vdc dengan menggunakan inverter *on-grid* SMA Sunny Tripower TL10000 dengan kapasitas sebesar 10250 W. Inverter ini dilengkapi dengan komunikasi Speedwire/Modbus berbasis ethernet. Inverter ini memiliki spesifikasi seperti yang ditunjukkan oleh tabel 2 [13].



Tabel 1. Spesifikasi modul pada kondisi STC

Parameter	Spesifikasi
Daya maksimum (Pmax)	265 W
Tegangan operasi (Vmp)	30,6 V
Arus operasi (Imp)	8,66 A
Tegangan open circuit (Voc)	37,7 V
Arus short circuit (Isc)	9,23 A
Efisiensi Modul	16,47 %
Suhu operasi	-40°C~80°C
Tegangan system maksimum	1000 V (IEC) 1000 V (UL)
Toleransi daya	0 ~ +5 W

Spesifikasi elektrik yang ditunjukkan pada tabel 1 merupakan spesifikasi modul surya pada kondisi STC dimana radiasi matahari = 1000 W/m<sup>2</sup>, spektrum AM 1,5 dan Suhu sel surya = 25 °C.

Tabel 2. Spesifikasi inverter on-grid SMA Sunny Tripower TL10000

	Parameter	Spesifikasi
DC input	Daya maksimum DC pada $\cos \varphi = 1$	10.200 W
	Tegangan input maksimum	1.000 V
	Range tegangan MPP	320 V-800 V
	Nilai tegangan input	600 V
	Tegangan input minimum	150 V
	Arus input maksimum, input A	22,0 A
	Arus input maksimum, input B	11,0 A
AC output	Nilai daya pada 230 V, 50 Hz	10.000 W
	Daya semu AC maksimum $\cos \varphi = 1$	10.000 VA
	Nilai tegangan grid	3/N/PE, 230/400 V
	Range tegangan AC	160 V-280 V
	Arus AC nominal pada 230 V	14,5 A
	Arus output maksimum	16,0 A

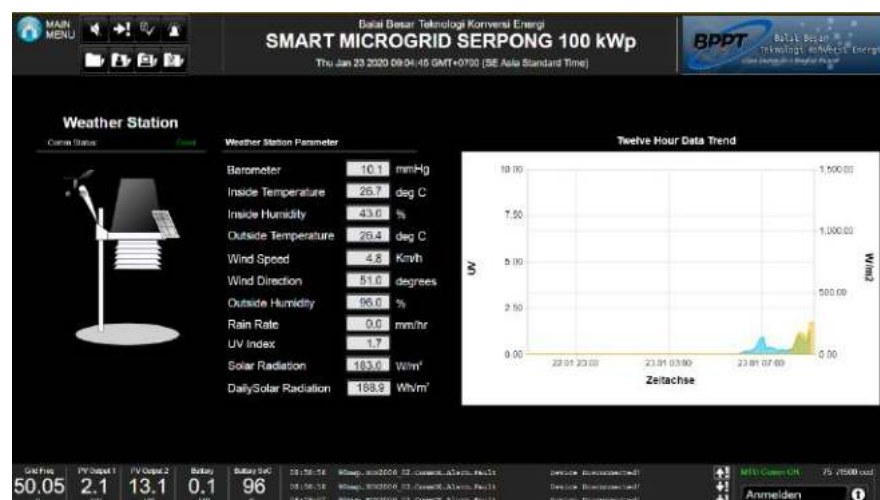
### 4.1.3 Sistem Hybrid Inverter dan Baterai



Gambar 4. 4 Hybrid Inverter Sunny Island SI3.0M, Parallel Kit, Fuse Box, dan Li-on Battery 2x5 kWh

Sistem hybrid inverter terdiri atas 3 unit inverter SMA Sunny Island 3.0 M untuk masing-masing fasa. Sedangkan baterai yang digunakan pada sistem ini adalah 2 unit jenis Lithium-ion Hoppecke Sun Power Pack Premium dengan kapasitas total 10 kWh. Baterai ini dilengkapi dengan komponen fuse pengaman khusus baterai. Hybrid inverter mengambil data parameter baterai dari BMS (Battery Management System) melalui komunikasi data digital CAN bus dan dilengkapi dengan komunikasi Speedwire/Modbus berbasis Ethernet [13].

### 4.1.4 Weather Station



Gambar 4. 5 Tampilan *Weather Station* Pada SCADA

Untuk memantau dan memonitoring cuaca yang terjadi, maka PV Rooftop yang ada di Gedung Energi B2TKE-BPPT menggunakan Davis Vantage Pro 2 Plus. Sistem ini dilengkapi dengan Modbus gateway dan Weather Link Cable untuk bisa terintegrasi dengan sistem SCADA. System monitoring cuaca ini dapat mengukur beberapa parameter seperti kelembaban, temperatur udara, temperatur modul, radiasi matahari dan kecepatan serta arah angin [13].

#### 4.1.5 Sistem AMI (*Automatic Meter Reading*)



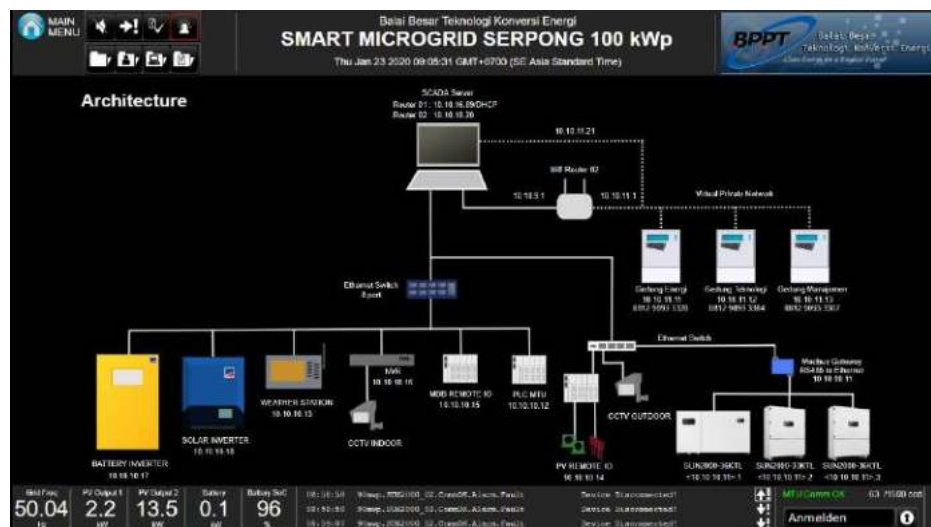
Gambar 4. 6 Tampilan Smart Meter

Sistem AMI yang dipasang mampu membaca 3 unit smart meter Iltron SL7000 dan EDM1 Mk10e yang terpasang di 3 gedung terpisah yaitu Gedung Energi, Gedung Tekno, dan Gedung Manajemen. Data tersebut dapat terbaca karena sudah terkoneksi dengan jaringan VPN dan seluler. Kemudian data tersebut dapat ditampilkan di sistem SCADA seperti pada gambar 4.6 [13].

#### 4.1.6 Sistem SCADA

SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*) adalah sistem yang mengacu pada kombinasi telemetri dan akuisisi data. Ini terdiri dari pengumpulan informasi, mentransfer kembali ke pusat kendali, melakukan analisis yang diperlukan dan kontrol, dan kemudian menampilkan data ini pada sejumlah operator display [14].

Sistem SCADA yang dikembangkan di B2TKE-BPPT menggunakan software Atvise SCADA dengan fitur monitoring status komponen smart grid, rekaman produksi energi sistem PV, serta integrasi dengan Smart-meter BPPT serta sistem monitoring cuaca. Data dapat didownload/eksport dalam bentuk Ms. excel. Sistem SCADA ini dapat mengendalikan output ke beban karena menggunakan MCB dengan fungsi remote control (MCB Reflex) [13].

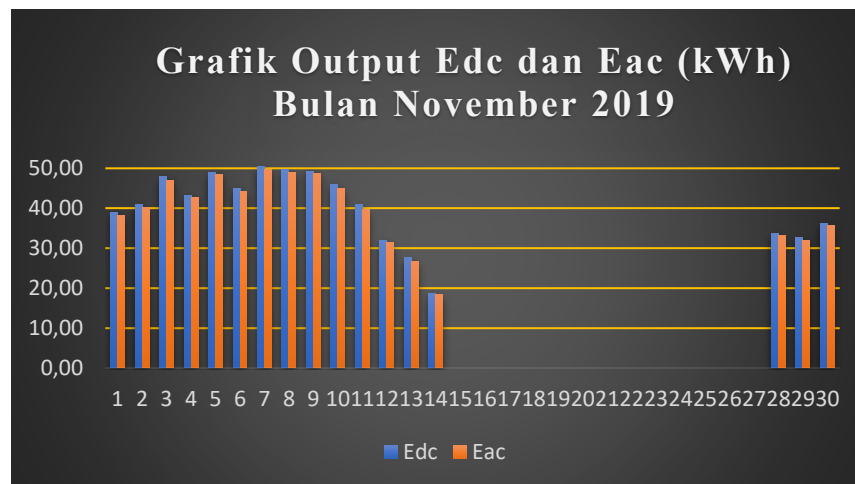


Gambar 4. 7 Arsitektur Sistem SCADA

## 4.2 Analisa Performa Sistem PLTS 10 kWp

Untuk menganalisa performa dari sistem PLTS 10 kWp, maka diambil data produksi, PV parameter, weather station, dan juga PV inverter dari tanggal 1 November 2019 hingga 30 November 2019. Data ini diambil per lima menit dari jam 06.00 hingga 18.00 kemudian diolah untuk mendapatkan nilai dari parameter-parameter yang digunakan untuk melakukan analisis unjuk kerja dari sistem PLTS 10 kWp ini. Namun, ketika mulai tanggal 15 November 2019 hingga tanggal 27 November 2019, produksi dari sistem PLTS tidak tersimpan atau terekam pada sistem SCADA sehingga menyebabkan data pada tanggal tersebut hilang dan tidak bisa diolah. Beberapa data ada yang tidak terekam sehingga harus ada data yang diprediksi contohnya seperti data pada intensitas cahaya (solar radiation).

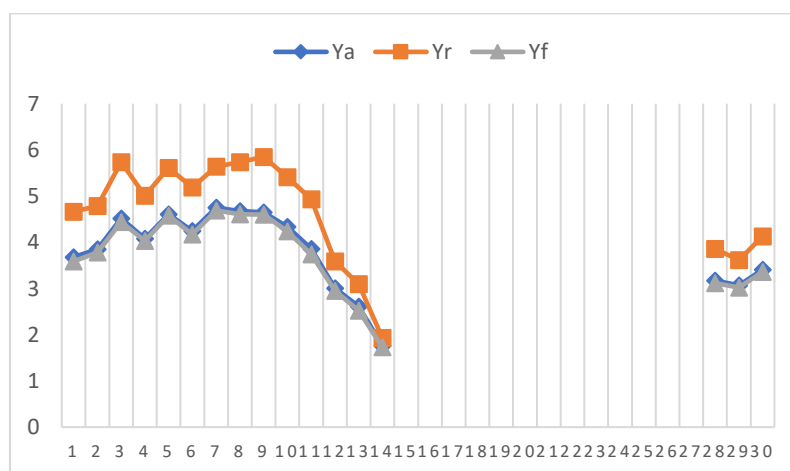
#### 4.2.1 Hasil perhitungan $E_{AC}$ dan $E_{DC}$



Gambar 4. 8 Grafik Output  $E_{AC}$  dan  $E_{DC}$  Pada Bulan November 2019

Produksi energi harian selama satu bulan dari tanggal 1 November 2019 hingga 30 November 2019 ditunjukkan pada gambar 4.8. Selama rentang waktu tersebut, produksi harian PV ( $E_{DC}$ ) mampu mencapai maksimum sebesar 50,37 kWh pada tanggal 7 November 2019. Sedangkan produksi minimumnya terjadi pada tanggal 14 November 2019 dengan produksi energi hanya sebesar 18,65 kWh. Untuk produksi harian sistem setelah masuk ke inverter Sunny Tripower TL10000 ( $E_{AC}$ ) mencapai nilai maksimum sebesar 49,72 kWh dan untuk nilai minimumnya sebesar 18,33 kWh.

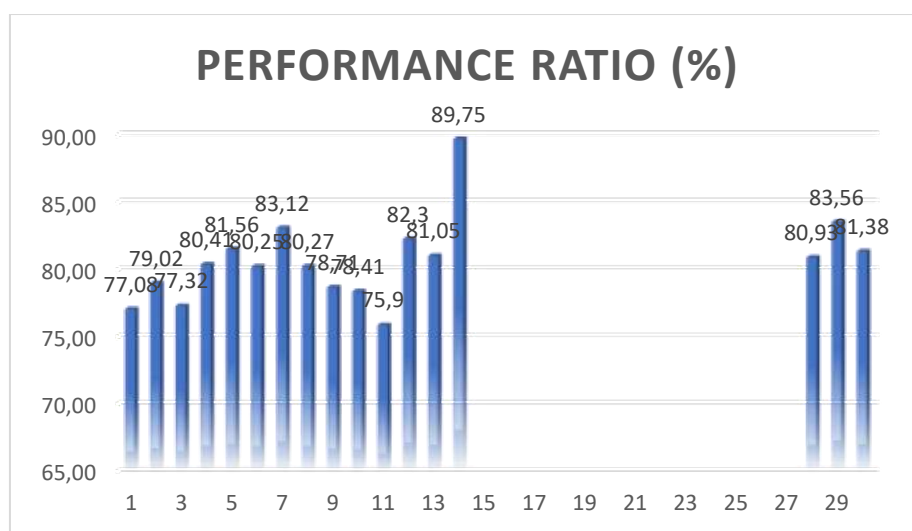
#### 4.2.2 Hasil perhitungan Array Yield ( $Y_A$ ), Reference Yield ( $Y_R$ ), dan Final Yield ( $Y_F$ )



Gambar 4. 9 Grafik Array Yield ( $Y_A$ ), Reference Yield ( $Y_R$ ), dan Final Yield ( $Y_F$ )

Gambar 4.9 menunjukkan produksi dari hasil array, hasil akhir dan juga hasil acuan dari sistem PLTS selama satu bulan. Untuk nilai maksimum dari hasil array sebesar 4,75 yang terjadi pada tanggal 7 November 2019, untuk hasil acuan (referensi) sebesar 5,74 yang terjadi pada tanggal 8 November 2019, dan untuk hasil akhir sebesar 4,69 pada tanggal 7 November 2019. Sedangkan untuk nilai minimum dari hasil array sebesar 1,75 pada tanggal 14 November 2019, untuk hasil acuan sebesar 1,93 pada tanggal 14 November 2019, dan untuk hasil akhirnya juga terjadi pada tanggal 14 November 2019 sebesar 1,73.

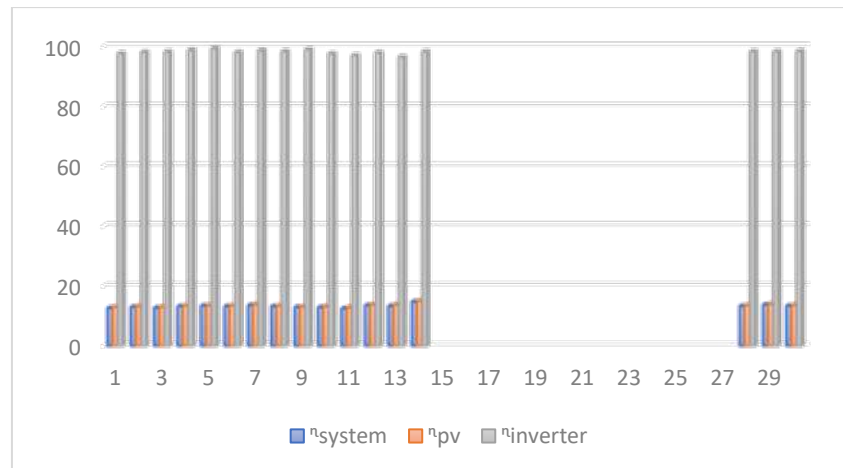
#### 4.2.3 Hasil perhitungan *Performance Ratio* (PR)



Gambar 4. 10 Grafik *Performance Ratio*

*Performance Ratio* menunjukkan rugi-rugi pada saat pengubahan daya DC menjadi AC. Oleh karena itu, dia mempresentasikan energi yang tersedia sebenarnya setelah dikurangi dengan energi yang hilang (*losses*). Jika dilihat dari grafik gambar 4.10, nilai maksimum terjadi pada tanggal 14 November 2019 sebesar 89,75% , sedangkan untuk nilai minimumnya sebesar 75,9% yang terjadi pada tanggal 11 November 2019.

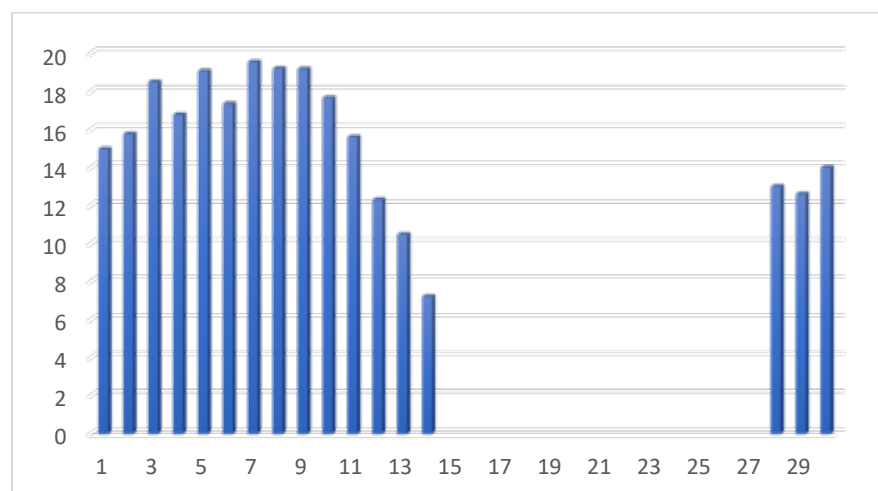
#### 4.2.4 Hasil perhitungan Efisiensi Sistem, PV, dan Inverter



Gambar 4. 11 Grafik Efisiensi Sistem, PV, dan Inverter

Gambar 4.11 merupakan grafik dari perhitungan rata-rata efisiensi perhari dari sistem, PV, dan inverter. Untuk nilai maksimum dari efisiensi sistem dan PV, terjadi pada tanggal 14 November 2019 dengan nilai sebesar 14,77% ( $\eta_{system}$ ) dan 15,02% ( $\eta_{pv}$ ). Sedangkan nilai minimumnya sebesar 12,49% ( $\eta_{system}$ ) dan 12,87% ( $\eta_{pv}$ ) yang terjadi pada tanggal 11 November 2019. Untuk efisiensi dari inverter, nilai maksimumnya sebesar 99,45% yang terjadi pada tanggal 5 November 2019, dan untuk nilai minimumnya sebesar 96,54% pada tanggal 13 November 2019.

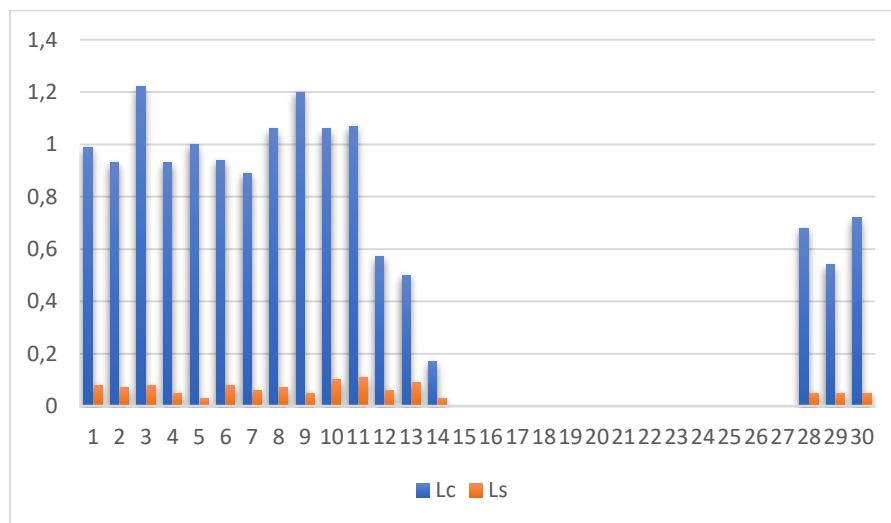
#### 4.2.5 Hasil perhitungan Faktor Kapasitas



Gambar 4. 12 Grafik Faktor kapasitas

Faktor kapasitas merupakan rasio dari keluaran energi aktual dalam periode tertentu dengan keluaran jika beroperasi pada daya nominal selama periode tertentu. Pada gambar 4.12 telah ditunjukkan bahwa rasio dari keluaran energi yang paling besar terjadi pada tanggal 7 November 2019 dengan nilai sebesar 19,55 dan untuk nilai minimumnya sebesar 7,21 yang terjadi pada tanggal 14 November 2019.

#### 4.2.6 Hasil perhitungan *Capture Loss* ( $L_c$ ) dan *System Loss* ( $L_s$ )

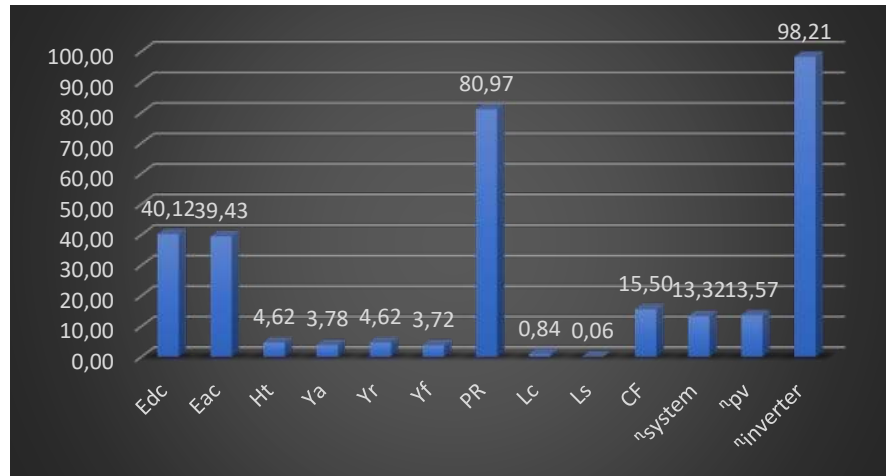


Gambar 4. 13 Grafik *Capture Loss* dan *System Loss*

*System Loss* disebabkan oleh ketidakefisiensian dari inverter sedangkan *capture loss* disebabkan oleh rugi-rugi *array* PV. Untuk nilai maksimum dari  $L_s$  sebesar 0,11 yang terjadi pada tanggal 11 November 2019. Hal ini menyebabkan *performa ratio* yang terjadi pada tanggal 11 November menghasilkan nilai yang paling minimum. Sedangkan untuk nilai minimum  $L_s$  sebesar 0,03 pada tanggal 14 November 2019 yang menyebabkan nilai dari *performa ratio* pada tanggal tersebut menjadi yang paling tinggi yaitu sebesar 89,75%. Untuk nilai maksimum  $L_c$  terjadi pada tanggal 3 November 2019 sebesar 1,12 dan untuk nilai minimumnya sebesar 0,17 yang terjadi pada tanggal 14 November 2019.



#### 4.2.7 Hasil Rata-Rata



Gambar 4. 14 Grafik Rata-Rata Unjuk Kerja PLTS 10 kWp

Gambar 4.14 menunjukkan rata-rata dari hasil perhitungan unjuk kerja PLTS 10 kWp selama satu bulan. Jika dilihat dari spesifikasi yang telah dijabarkan pada tabel 1. pada efisiensi modul disebutkan bahwa efisiensinya sebesar 16,47% sedangkan pada hasil perhitungan hanya mendapatkan efisiensi PV sebesar 13,47%. Karena banyak beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kinerja dari PV itu sendiri, sehingga seiring berjalannya waktu efisiensi PV juga dapat turun. Untuk efisiensi dari inverternya rata-rata perbulan sebesar 98,21%.

### 4.3 Pengecekan Sistem *Weather Station*

Data yang ada pada *Weather Station* yang ada di sistem SCADA banyak yang tidak terekam, sehingga dilakukan pengecekan untuk mencari tahu masalah yang terjadi. Pengecekan menggunakan Multimeter untuk mengukur arus dan tegangan yang ada pada sensor WS. Hasil dari pengukuran dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Tegangan Pada Sensor WS

	101 (mV)	102 (mV)	201 (mV)	202 (mV)
(+)(-)	0	237	60	56,1
(+)(ground)	0	241	61,4	57,2
(-)(ground)	0	35	1,3	1



Gambar 4. 15 Sensor WS

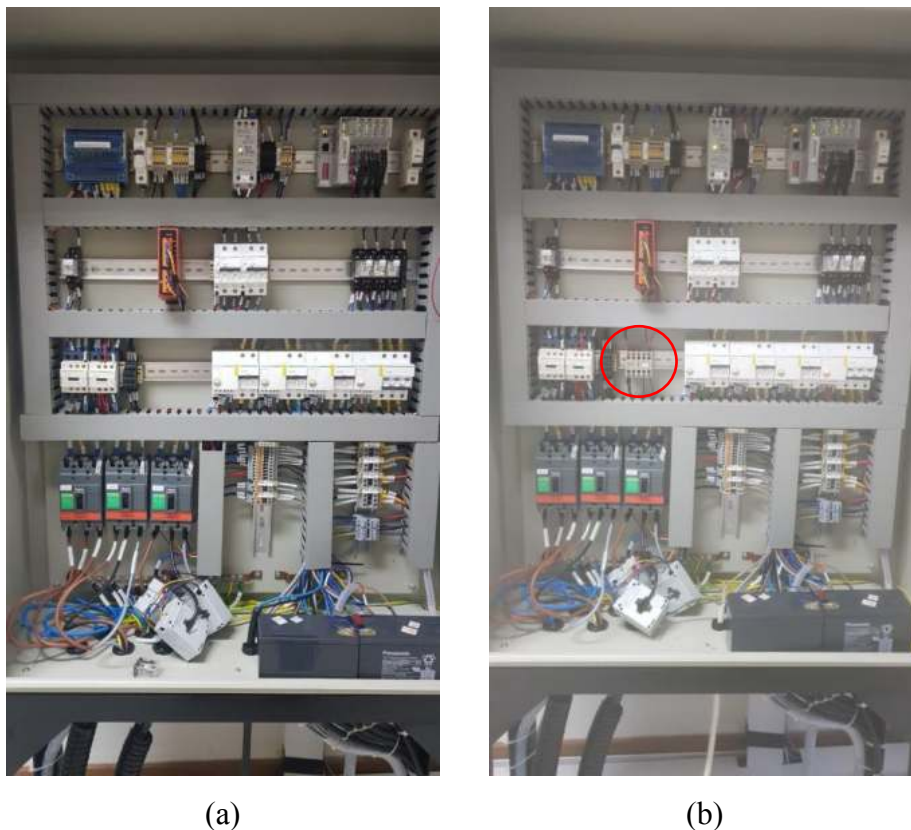
Jika dilihat dari tabel 3. maka dapat dikatakan bahwa output tegangan yang normal yaitu pada sensor 201 dan 202. Ketika kabel yang ada pada sensor 102 ditukar tempat dengan kabel sensor 201 begitu pula sebaliknya, maka outputnya menjadi seperti pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Tegangan Saat 102 Dengan 201 Ditukar Posisi

	101 (mV)	102 (mV)	201 (mV)	202 (mV)
(+)(-)	0	60	237	56,1
(+)(ground)	0	61,4	241	57,2
(-)(ground)	0	1,3	35	1

Jika dilihat dari tabel 4. maka dapat disimpulkan bahwa sensor dalam keadaan normal dan yang menjadi masalahnya adalah pada PLC nya. Sebab kabel dari sensor 201 dan 202 ditempatkan pada PLC yang berbeda dan lampu indikatornya berwarna hijau. Pada PLC yang dari sensor 101 dan 102 lampu indikatornya berwarna merah.

#### 4.4 Penambahan Beban AC Split Pada Sistem PLTS 10 kWp



Gambar 4. 16 (a) MDB Sebelum Ditambahkan beban AC Split, (b) MDB Setelah Ditambah beban AC Split

Untuk menambah fitur yang ada pada sistem SCADA saat ini, maka ditambahkan beban yang dapat dikendalikan outputnya karena menggunakan MCB dengan fungsi remote control (MCB reflex). Beban yang dihasilkan oleh AC Split ditambahkan kedalam sistem SCADA saat ini. Untuk menambahkannya, maka diperlukan kontaktor yang dihubungkan ke Modbus agar data data terbaca dan dapat dikontrol dengan SCADA. Kontaktor yang digunakan adalah kontaktor yang sudah memiliki coil (relay) sehingga tidak perlu menambahkan relay lagi dan jenis kontaktor yang digunakan adalah *Normally Open*. Kontaktor Omron J7AN-E3 24 Vdc ini sudah memiliki spesifikasi yang dibutuhkan untuk menambah beban AC ini sehingga kontaktor Omron ini dipasang seperti pada gambar 4.16 bagian (b).

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil pembahasan maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut:

- a. PLTS Rooftop 10 kWp yang ada di Gedung Energi memiliki sistem on grid yang langsung terhubung ke jaringan PLN.
- b. Sistem PLTS Rooftop yang berkapasitas 10 kWp memiliki 40 unit modul surya Canadian Solar tipe CS6p-265P yang dibagi menjadi 2 string dengan daya nominal 265 Wp.
- c. Sistem PLTS Rooftop 10 kWp menggunakan sistem SCADA yang dapat memonitoring status komponen smart grid, rekaman produksi energi PV, serta integrasi dengan smart meter dan juga *Weather Station* untuk memonitoring cuaca.
- d. Sistem PLTS Rooftop 10 kWp mampu menghasilkan energi harian rata-rata sebesar 40,12 kWh. Energi minimum yang dihasilkan per hari sebesar 18,65 kWh dan energi maksimum per hari sebesar 50,37 kWh serta memiliki *performance ratio* (PR) sebesar 80,97.
- e. Sistem PLTS Rooftop 10 kWp memiliki rata rata *system Loss* sebesar 0,06 serta *capture loss* sebesar 0,84. Besarnya *system loss* mempengaruhi besarnya *performance ratio*.
- f. Sistem PLTS Rooftop 10 kWp memiliki faktor kapasitas rata-rata sebesar 15,50.
- g. Sistem PLTS Rooftop 10 kWp memiliki efisiensi sistem rata-rata sebesar 13,32% dan efisiensi PV rata-rata sebesar 13,57% serta efisiensi dari inverter sebesar 98,21%.
- h. Pada sistem *weather station* terdapat kesalahan/error dibagian PLC nya, sehingga data pada *weather station* terkadang tidak terekam di sistem SCADA.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil pembahasan maka terdapat beberapa saran menurut penulis dapat membantu untuk menjaga performa dari sistem PLTS 10 kWp yang diambil dari beberapa jurnal yaitu sebagai berikut:

- a. Menambahkan termoelektrik untuk menjaga suhu PV dan meningkatkan efisiensi dari PV
- b. Melakukan pengecekan terhadap kabel koneksi yang terpasang dalam posisi yang tidak kendur
- c. Melakukan pengecekan pada area permukaan dari PV agar selalu terjaga kebersihannya
- d. Memeriksa semua komponen yang terpasang pada sistem PV apakah sudah bekerja dengan maksimal atau belum

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian ESDM, (2016), *Jurnal Energi Edisi 2*, diakses tanggal 10 Februari 2020, [https://www.esdm.go.id/assets/media/content/FIX2\\_Jurnal\\_Energi\\_Edisi\\_2\\_17112016\(1\).pdf](https://www.esdm.go.id/assets/media/content/FIX2_Jurnal_Energi_Edisi_2_17112016(1).pdf)
- [2] b2tke.bppt.go.id, (2018), *B2TKE Terapkan Teknologi Smart Grid 10 KW Di Rooftop Klaster Energi*, diakses tanggal 12 Februari 2020, <http://b2tke.bppt.go.id/index.php/id/192-b2tke-terapkan-pv-rooftop-10-kwp-di-kawasan-puspiptek>
- [3] bppt.go.id, *Sejarah Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi*, diakses tanggal 12 Februari 2020, <https://www.bppt.go.id/profil/sejarah>
- [4] b2tke.bppt.go.id, (2016), *Sejarah Balai Besar Teknologi Konversi Energi*, diakses tanggal 12 Februari 2020, <http://b2tke.bppt.go.id/index.php/id/profil/sejarah>
- [5] Wulandari Handini, (2008), *Teknik Metalurgi dan Material*, Universitas Indonesia, Skripsi, “*Performa Sel Surya Tersentisasi Zat Perwarna (DSSC)*”
- [6] Bambang Hari Purwoto, Jatmiko, Muhamad Alimul F, Ilham Fahmi Huda, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta “Efisiensi Penggunaan Panel Surya Sebagai Sumber Energi Alternatif” *Jurnal Emitor*, Vol.18 No.01, ISSN 1441-8890.
- [7] L. M. Ayompe, A. Duffy, S. J. McCormack, and M. Conlon, “Measured performance of a 1.72kW rooftop grid connected photovoltaic system in Ireland,” *Energy Conversion and Management*, vol. 52, no. 2, pp. 816–825, 2011.

- [8] C. E. B. E. Sidi, M. L. Ndiaye, M. E. Bah, A. Mbodji, A. Ndiaye, and P. A. Ndiaye, "Performance analysis of the first large-scale (15MWp) grid-connected photovoltaic plant in Mauritania," *Energy Conversion and Management*, vol. 119, no. 1, pp. 411–421, 2016.
- [9] B. Tripathi, P. Yadav, S. Rathod, and M. Kumar, "Performance analysis and comparison of two silicon material based photovoltaic technologies under actual climatic conditions in Western India," *Energy Conversion and Management*, vol. 80, pp. 97–102, 2014.
- [10] A. Balaska, A. Tahri, F. Tahri, and A. B. Stambouli, "Performance assessment of five different photovoltaic module technologies under outdoor conditions in Algeria," *Renewable Energy*, vol. 107, pp. 53–60, 2017.
- [11] I. Jamil, J. Q. Zhao, L. Zhang, R. Jamil, and S. F. Rafique, "Evaluation of energy production and energy yield assessment based on feasibility, design, and execution of  $3 \times 50\text{MW}$  grid-connected solar PV pilot project in Nooriabad," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2017, Article ID 6429581, 18 pages, 2017.
- [12] I K Agus Setiawan, I N Satya Kumara, I Wayan Sukerayasa, Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana "Analisis Unjuk Kerja pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Satu MWp Terinterkoneksi Jaringan Di Kayubih, Bangli" Vol.13 No.1 Januari-Juni, 2014.
- [13] Eka Nurdiana, Hamzah Hilal, Riza, Nur Aryanto Aryono, Andhika Prastawa, B2TKE-BPPT, "Performance of 10 kWp PV Rooftop System Based on Smart Grid in Energy Building PUSPIPTEK" *International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application (ICSEEA)* 2019.
- [14] Surya Utama Putra, (2016), *Pengertian dan Jenis Sel Surya*, [e-book],

diakses tanggal 15 Februari 2020, dari <  
<http://suryautamaputra.co.id/blog/2016/04/16/pengertian-dan-jenis-sel-surya/>>

[15] Phil Taylor-Parker, (2019), *Monocrystalline Vs. Polycrystalline Solar Panels: Understanding Solar Cell Technology* [e-book], diakses tanggal 16 Februari 2020, dari <<https://www.wholesalesolar.com/blog/monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels/>>

[16] Ravi Kansagara, (2018), *Introduction to Different Types of Inverters* [e-book], diakses tanggal 16 Februari 2020, dari <<https://circuitdigest.com/tutorial/different-types-of-inverters>>



# LAMPIRAN

## Lampiran 1. Surat Permohonan Kerja Praktik



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI DAN PENDIDIKAN TINGGI  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
FAKULTAS TEKNIK  
**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**  
Jl. Ir. Sutami 36 A Ketingan Surakarta  
telp. 0271 647069 web: <http://elektro.ft.uns.ac.id>

Nomor : **98** /UN27.08.06.7/PP/2019  
Lampiran : Proposal KP  
Hal : Permohonan Kerja Praktek

10 September 2019

Yth. **Kepala B2TKE**  
**B2TKE BPPT**  
**Gd 620 Kawasan PUSPIPTEK, Setu,**  
**Tangerang Selatan 15314**

Dengan Hormat,

Dengan surat ini kami bermaksud mengajukan permohonan kepada Bapak/Ibu untuk menerima mahasiswa kami kerja praktek / magang pada perusahaan yang Bapak/Ibu pimpin. Adapun nama mahasiswa tersebut adalah sebagai berikut:

Nama : **KEVIN DWIYANTO SAPUTRA**  
N I M : **I0717023**

Untuk pelaksanaan kerja praktek tersebut di atas dimohonkan mulai tanggal **20-01-2020** sampai **29-02-2020** atau dalam waktu yang lain sesuai dengan kebijakan perusahaan Bapak/Ibu.

Untuk surat balasan mohon dialamatkan kepada:

**Kepala Program Studi Teknik Elektro**  
**Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret**  
**Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta 57126 Telp. 0271-647069**

Atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan terima kasih.

Mengetahui,  
Kepala Program Studi

**Feri Adriyanto, S.Si., M.Si., Ph.D.**  
**NIP 196801161999031001**

Koordinator Kerja Praktek

**Jaka Sulistya Budi**  
**NIP 196710191999031001**

TE-KP-004

## Lampiran 2. Surat Balasan Kerja Praktik

**BPPT** **BALAI BESAR TEKNOLOGI KONVERSI ENERGI**  
 B2TKE- BPPT Gd. 620 Kawasan Puspipetek, Serpong, Tangerang Selatan 15314  
 Telp (021) 7560550, Faks (021) 7560904, Website <https://www.b2tke.bppt.go.id>

Nomor : B-33/BPPT/B2TKE/SD/DL.03.01/09/2019 TangSel, 04 September 2019  
 Sifat : Biasa  
 Lampiran : --  
 Hal : Praktek Kerja Industri (Prakerin)

Yth.  
 Bapak Feri Adriyanto, S.Si, Msi, P.hd  
 u.p Bapak Jaka Sulistya Budi  
 Universitas Sebelas Maret  
 Fakultas Teknik Elektro  
 JL.Ir.Sutami 36 A Kertinginan Surakarta  
 Telp : (0271) 647069

Menjawab Surat Dinas Nomor : 98/UN27.08.06.7/PP/2019 tanggal 10 September 2019 perihal Permohonan Izin Penelitian Kerja Praktik, maka bersama ini disampaikan hal-hal sebagai berikut :

1. Pada prinsipnya kami menerima permohonan melaksanakan Izin Penelitian Kerja Praktik di Balai Besar Teknologi Konversi Energi.

NO	NAMA	NIM	PROGRAM KEAHLIAN	PEMBIMBING
1	Kevin Dwiyanto Saputra	10717023	Teknik Elektro	Asih Kurniasari, ST
2	Weldino Panji Kurniadi	10717041	Teknik Elektro	Asih Kurniasari, ST

2. Adapun pelaksanaan Prakerin dimulai pada tanggal 20 Januari s/d 29 Februari 2020, dan siswa membawa pasphoto berwarna uk. 2x3 cm = 3 lembar.
3. Semua biaya yang timbul dalam waktu pelaksanaan Prakerin, termasuk biaya atas kerusakan atau kehilangan alat-alat yang diperlukan adalah tanggung jawab yang bersangkutan, dan segala macam penggunaan peralatan harus didampingi dan diketahui oleh operator yang bertanggung jawab di laboratorium tersebut.
4. Setelah selesai melaksanakan Prakerin Mahasiswa diwajibkan memberi 1 (satu) copy laporan kepada Balai Besar Teknologi Konversi Energi.
5. Yang bersangkutan bisa menghubungi sdri Yunianingsih (085782180511)

Demikian disampaikan, atas perhatian dan kerjasamanya diucapkan terima kasih.

Kepala Balai Besar Teknologi Konversi Energi  
 Dr. Mohammad Mustafa Sarinanto  
 NIP. 19680502 1988011001

Tembusan :  
 1. Ka. Bag.Umum  
 2. Ka. Bidang Teknologi Kelistrikan

## Lampiran 3. Form Penugasan Kerja Praktik

**LEMBAR TUGAS KERJA PRAKTEK**

Nama Mahasiswa : **KEVIN DWIYANTO SAPUTRA**  
 N I M : **I0717023**  
 Dosen Pembimbing : **Hari Maghfiroh, S.T., M.Eng.**  
 NIP : **199104132018031001**  
 Tempat Kerja Praktek (KP) : **B2TKE BPPT**  
 Alamat Tempat KP : **Gd 620 Kawasan PUSPIPEK, Setu,  
Tangerang Selatan 15314**  
 Tanggal Kerja Praktek (KP) : **s.d.**

**Diskripsi Tugas Mahasiswa**

- 1) *Kerjakan tugas dari Pembimbing Lapangan*
- 2) *Aktif mencari tahu*

Surakarta, 31 Desember 2019  
 Dosen Pembimbing Kerja Praktek

**Hari Maghfiroh, S.T., M.Eng.**  
 NIP. 199104132018031001

TE-KP-005

## Lampiran 4. Surat Penugasan Kerja Praktik



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
**FAKULTAS TEKNIK**

Jalan Ir. Sutami 36A Kentingan Surakarta 57126  
Telp. (0271)647069, Fax. (0271)662118  
laman: <http://ft.uns.ac.id>

Nomor : 4086/UN27-08/45/2019  
Hal : Penugasan Kerja Praktek

31 December 2019

Yth. Kepala B2TKE  
B2TKE BPPT  
Gd 620 Kawasan PUSPIPEK,  
Setu, Tangerang Selatan 15314

Dengan Hormat,

Berdasarkan surat No. **B-323/BPPT/B2TKE/SD/DL.03.01/09/2019** tanggal **04-09-2019** mengenai jawaban permohonan kerja praktek, bersama ini kami tugaskan mahasiswa Program Studi Teknik Elektro sebagai berikut untuk melaksanakan kerja praktek / magang di perusahaan Bapak / Ibu:

Nama : **KEVIN DWIYANTO SAPUTRA**  
N I M : **10717023**

Terhitung,

mulai tanggal : **20-01-2020**  
selesai tanggal : **29-02-2020**

Demikian surat penugasan ini untuk dilaksanakan sebagaimana mestinya.



Dr. Ir. Sholihin As'ad, M.T.  
NIP. 196710011997021001

## Lampiran 5. Surat Keterangan Selesai Kerja Praktik



**BALAI BESAR TEKNOLOGI KONVERSI ENERGI**  
B2TKE- BPPT Gd. 620 Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan 15314  
Telp (021) 7560916, Faks (021) 7560904, Website <https://www.b2tke.bppt.go.id>

SURAT KETERANGAN

NOMOR : B 12 /B2TKE/KET/DL.03.01/03/2020

Yang Bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Dr. Mohammad Mustafa Sarinanto  
NIP : 19680502 1988011001  
Jabatan : Kepala Balai Besar Teknologi Konversi Energi

Dengan ini menerangkan bahwa :

Nama : Kevin Dwiyanto Saputra  
NIM : i0717023  
Jurusan : Teknik Elektro  
Universitas : Universitas Sebelas Maret

Benar – benar telah melaksanakan kegiatan magang di Balai Besar Teknologi Konversi Energi – BPPT mulai tanggal 20 Januari s/d 29 Februari 2020 yang dibimbing oleh Asih Kurniasari, ST

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Tangeran Selatan, 03 Maret 2020  
Kepala Balai Besar Teknologi  
Konversi Energi,



Dr. Mohammad Mustafa Sarinanto  
Nip. 19680502 1988011001



## Lampiran 6. Form Penilaian Kerja Praktik



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN  
UNIVERSITAS SEBELAS MARET  
FAKULTAS TEKNIK  
**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO**  
Jl. Ir. Sutami 36 A Ketingan Surakarta  
telp. 0271 647069 web: <http://elektro.ft.uns.ac.id>

**LEMBAR PENILAIAN KERJA PRAKTEK**Nama : **KEVIN DWIYANTO SAPUTRA**NIM : **10717023****A. Nilai Perusahaan (bobot 60%)**

No	Kriteria	Nilai Angka	Nilai Huruf
<b>Sikap Kerja :</b>			
1.	Kerajinan dan Kedisiplinan	80	
2.	Kerjasama	90	
3.	Inisiatif	90	
<b>Hasil Kerja :</b>			
4.	Ketrampilan	85	
5.	Kerapian	85	
	Nilai Rata-rata		

**B. Nilai Seminar KP/Dosen (bobot 40%)**

1.	Tata tulis, Penyampaian Makalah, Penguasaan Materi, Kemampuan Menjawab Pertanyaan	87	
----	---	----	--

Nilai Akhir \_\_\_\_\_

Catatan :

- a. 85 s/d 100 : A  
b. 80 s/d 84 : A-  
c. 75 s/d 79 : B+

- d. 70 s/d 74 : B  
e. 65 s/d 69 : C+  
f. 60 s/d 64 : C

Dosen Pembimbing KP

Pembimbing Lapangan,

Hari Maghfiroh, S.T., M.Eng.  
NIP. 199104132018031001

*Asih Kurniasari*  
Asih Kurniasari

## Lampiran 8. Lembar Konsultasi Kerja Praktik

**LEMBAR KONSULTASI KERJA PRAKTEK**

Nama Mahasiswa : KEVIN DWIYANTO SAPUTRA  
 N I M : I0717023  
 Dosen Pembimbing : Hari Maghfiroh, S.T.,  
 M.Eng./199104132018031001  
 Pembimbing Lapangan : \_\_\_\_\_  
 Tempat Kerja Praktek : B2TKE BPPT  
 (KP)  
 Alamat Tempat KP : Gd 620 Kawasan PUSPIPTEK, Setu,  
 Tangerang Selatan 15314  
 Tanggal Kerja Praktek : s.d.  
 (KP)

No	Tanggal	Uraian Kegiatan	Paraf Pemb.
1.	9/9/2019	Konsultasi tempat KP	
2.	12/9/2019	Konsultasi Proposal (ACL)	
3.	31/12/19	Tugas KP	
4.	20/1/20	Pengenalan B2TKE-BPPT PUSPIPTEK	
5.	21/1/20	Konsultasi topik KP	
6.	23/1/20	Penentuan topik KP	
7.	23/1/20	Pengenalan komponen-komponen PLTS 10 kWp	
8.	27/1/20	Pengambilan data pada web SCADA	
9.	19/2/20	Konsultasi hasil data yang diolah	
10.	19/2/20	Mempelajari lebih lanjut tentang sistem kerja PLTS 10 kWp	

**Catatan :**

1. Lembar pantauan ditandatangani dosen pembimbing selama penyusunan proposal & laporan akhir
2. Lembar konsultasi ditanda tangani pembimbing lapangan dan distempel selama kegiatan di lapangan

TE-KP-002





## Lampiran 9. Daftar Hadir Seminar Kerja Praktik

**PRESENSI SEMINAR KERJA PRAKTEK**  
**KEVIN DWIYANTO SAPUTRA I0717023**  
**SENIN 3 AGUSTUS 2020 10.00**

NO	NIM	NAMA
1	I0717025	M. Maulana Yusuf
2	I0718001	Abraham Babtistio
3	I0717001	Aditya Pratama
4	I0717004	Alvin Ichwannur Ridho
5	I0717009	Bakasrian Fericoari
6	I0717010	Banu Maheswara
7	I0717011	Bayhaqi Irfani
8	I0717012	Berlianne Shanaza Andriany
9	I0719022	Dina Mifika Sari
10	I0717016	Faishal Hanifan Ma'Ruf
11	I0718010	Firmansyah Abada
12	I0717018	Hanifah Yulia
13		Hari Mgh
14	I0717021	Hisbullah Ahmad Fathoni
15	I0717023	Kevin Dwiyanto Saputra
16	I0717026	Mohammad Raihan Hafiz
17	I0718024	Muhammad Ibnu Sina Abbas Parlin
18	I0717024	Muhammad Iqbal Zidny
19	I0717029	Muhammad Renaldy Darmawan
20	I0718032	Rois Hasan Muhammad
21	I0718035	Syaifullah Filard L
22		Syavira Chairunisa
23	I0718031	Rizal Mujaddid Irsyad
24	I0715027	Muhammad Wahid Hasyim