

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Energi Surya

Saat ini, energi memainkan peran yang sangat penting dalam kehidupan manusia. Itu mendukung aktivitas ekonomi negara serta juga dipergunakan untuk menggapai tujuan sosial, ekonomi, serta lingkungan. Sampai pada saat ini, sumber energi masih dominan menggunakan minyak bumi, sementara cadangan sumber energi minyak bumi semakin langka dan mahal harganya. Namun, kesadaran akan pentingnya energi terbarukan masih kurang di kalangan masyarakat umum. Selain itu, terdapat persepsi bahwasannya biaya awal untuk mengadopsi energi terbarukan sangat tinggi. Indonesia berpotensi energi terbarukan yang sangat besar, termasuk panas bumi, biomassa, energi air, energi surya, tenaga air, energi angin, serta energi samudera. Namun, potensi besar ini belum dimanfaatkan secara optimal. Sebuah energi yang bisa dipergunakan jadi sumber energi alternatif yakni energi surya (*solar cell*) [19].

Proses yang terjadi di permukaan bumi sangat bergantung pada energi dari matahari. Radiasi matahari yang mencapai bumi berperan penting dalam banyak hal, termasuk pemanfaatan sel surya sebagai pembangkit listrik. Sel surya yakni perangkat yang mampu mengkonversi sinar matahari dijadikan energi listrik. Jika dibandingkan dengan sumber energi terbarukan lainnya, potensi daya matahari mencapai 156,486 MW [20].

Energi surya merupakan peran penting sebagai sumber energi. Sumber energi surya akan terus terbentuk selama matahari tetap ada. Hubungan antara posisi matahari dan lokasi geografis area di permukaan bumi sangat memengaruhi potensi energi surya. Potensi energi surya bisa menghadapi perubahan tiap waktunya, dipengaruhi oleh kondisi atmosfer, letak geografis (garis lintang), serta variabel temporal seperti hari pada tahun serta jam pada sehari. Karena lokasinya di garis khatulistiwa, Indonesia berpotensi energi surya yang signifikan sepanjang tahun [21].

2.2 Panel Surya

Panel surya bisa menghasilkan energi dari radiasi matahari sebagai sumber energi terbarukan. Indonesia, dengan iklimnya yang tropis, mempunyai banyak potensi untuk menerapkan teknologi panel surya. Masalah utama dalam pemanfaatan energi surya yaitu tidak stabilnya daya yang diciptakan oleh panel surya dikarenakan sangat membutuhkan ke intensitas radiasi yang diterimanya. Untuk mencapai tingkat *output* yang optimal, panel surya dapat dipasang dengan sudut kemiringan yang tepat [22].

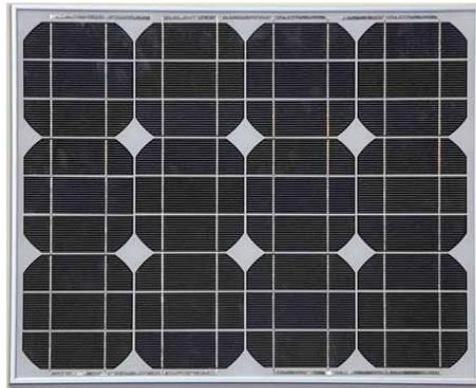
Panel surya memungkinkan transformasi energi matahari langsung dijadikan energi listrik. Karena *photovoltaic* terbuat dari bahan semikonduktor seperti silikon (Si) ataupun germanium (Ge), gelombang elektromagnetik, ataupun foton, diubah melalui interaksi foton-elektron di sambungan P-N bahan semikonduktor [23].

2.3 Jenis-Jenis Sel Surya

Bahwasannya sel surya, yang dipergunakan untuk mengubah sinar matahari menjadi listrik, dapat diklasifikasikan ataupun dikelompokkan berdasarkan teknologi yang dipergunakan dalam pembuatannya. Ini berarti ada berbagai jenis sel surya yang dibuat dengan teknologi yang berbeda, seperti sel surya silikon kristal, sel surya film tipis, dan sel surya berbasis bahan organik. Setiap jenis teknologi ini mempunyai karakteristik, efisiensi, dan aplikasi yang berbeda-beda. Secara umum, sel surya dapat dikategorikan menjadi tiga kelompok utama, yaitu:

2.3.1 *Monocrystalline*

Panel surya *monocrystalline* dikenal sebagai jenis panel surya yang paling efisien dibandingkan dengan jenis lainnya. Efisiensinya berkisar antara 14-17%, yang berarti bahwasannya persentase tersebut dari sinar matahari yang diserap oleh panel dapat diubah menjadi listrik. Keunggulan ini disebabkan oleh struktur kristal tunggal silikon yang dipergunakan dalam panel, yang memungkinkan aliran elektron lebih bebas serta efisien. Hal ini membuat panel *monocrystalline* sangat efektif dalam menghasilkan listrik, terutama di area dengan intensitas cahaya matahari yang tinggi. Gambar sel surya jenis *monocrystalline* bisa diperlihatkan pada Gambar 2.1.

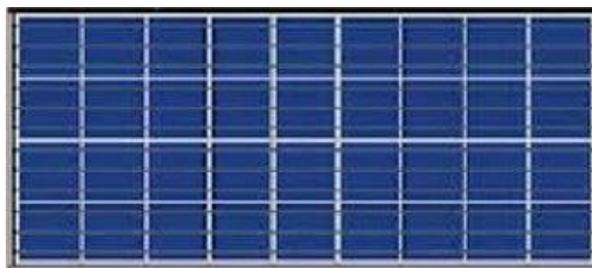


Gambar 2.1 Sel Surya Jenis *Monocrystalline* [24]

Gambar 2.1 menggambarkan sel surya *monocrystalline*, yang yakni salah satu jenis panel surya. Salah satu kelemahan utama dari panel surya jenis ini yaitu efisiensinya yang menurun ketika cuaca berawan ataupun ketika ada kurangnya paparan sinar matahari. Hal ini berarti bahwasannya kinerja sel surya *monocrystalline* sangat bergantung pada intensitas cahaya matahari yang diterimanya, sehingga pada hari-hari dengan cuaca mendung ataupun berawan, energi yang dihasilkan oleh panel ini akan berkurang secara signifikan. [24]

2.3.2 *Polycrystalline*

Yakni *solar cell* dengan efisiensi terbaik dibanding dengan modul *solar cell* yang lain, karena menggunakan sel surya dengan lapisan SiN yang memberikan solusi penghematan energi listrik. Sel surya jenis *polycrystalline* bisa diperlihatkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Sel Surya Jenis *Polycrystal* [25]

Berdasarkan Gambar 2.2, sel surya polikristalin memerlukan area permukaan yang lebih luas dibanding pada sel surya monokristal guna menciptakan daya listrik yang sama. Berarti bahwasannya sel surya monokristal lebih efisien

dalam mengonversi sinar matahari menjadi listrik, sehingga membutuhkan ruang yang lebih sedikit guna menggapai *output* energi yang setara. [26] .

2.3.3 *Thin film Solar Cell*

Keunggulan panel surya dua lapisan yang terdiri dari lapisan mikrokrystal-silisium serta amorphous dibandingkan dengan panel surya monokristalin serta polykrystalin. Struktur tipis dari lapisan mikrokrystal-silisium serta amorphous ini, dikombinasikan dengan efisiensi modul yang mencapai hingga 8,5%, memungkinkan panel surya dua lapisan guna menghasilkan daya yang lebih besar per luas permukaan. Dengan kata lain, panel surya dua lapisan bisa menghasilkan lebih banyak energi dengan menggunakan area yang lebih kecil dibandingkan dengan panel surya monokristalin serta polykrystalin, yang berarti lebih efisien pada penggunaan ruang bagi instalasi energi surya. Sel surya jenis *thin film* bisa diperlihatkan pada Gambar 2.3.

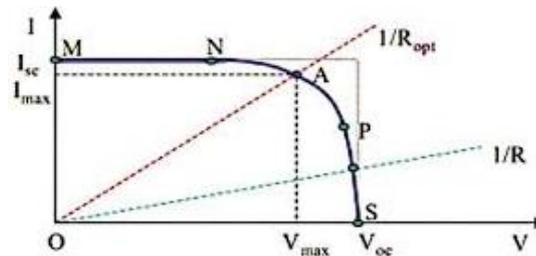


Gambar 2.3 Sel Surya Jenis *Thin film* [25]

Berdasarkan Gambar 2.3 dengan tiga lapisan film tipis *triple junction photovoltaic*, inovasi terbaru ini bisa menciptakan daya hingga 45% lebih banyak daripada panel jenis lain bagi daya yang sama [25].

2.4 Karakteristik Sel Surya

Karakteristik sel surya dibentuk oleh kurva korelasi arus serta tegangan yang memengaruhi radiasi serta suhu matahari. Guna menciptakan daya maksimal (Wp) pada sel surya, pengujian dilaksanakan melalui radiasi matahari pada 1000 W/m² serta suhu pada 25°C, yang yakni standar tes kondisi (STC). Gambar 2.4 memperlihatkan gambar karakteristik sel surya.



Gambar 2.4 Karakteristik Sel Surya [27]

Berdasarkan Gambar 2.4 jika terminal sel dihubungkan resistansi variabel R , operasi titik ditentukan oleh perpotongan karakteristik I - V sel surya dengan karakteristik beban I - V lihat pada gambar 2.4. Karakteristik untuk beban resistif yaitu garis lurus dengan kemiringan $I/V=1/R$. Itu harus diperlihatkan bahwasannya daya yang dikirim ke beban tergantung dari nilai resistansi saja. Namun, apabila beban R kecil, sel beroperasi di wilayah MN kurva, di mana sel berperilaku sebagai sumber arus konstan, hampir sama dengan arus pendek arus sirkuit. Sebaliknya, jika beban R besar, sel beroperasi pada wilayah PS kurva, di mana sel berperilaku lebih sebagai sumber tegangan konstan, hampir sama dengan tegangan rangkaian terbuka [27].

Untuk menentukan nilai daya yang dihasilkan, langkah pertama yang harus dilakukan adalah mengetahui daya yang diterima (*input*), daya tersebut merupakan hasil dari perkalian dari intensitas radiasi matahari yang diterima pada luas modul surya. Berikut adalah persamaan daya dengan *irradiance* yang dapat dilihat pada persamaan dibawah ini.

$$P_{in} = I_r \times A \quad (2.1)$$

Keterangan:

P_{in} : Daya *input* dari *irradiance* matahari (*Watt*)

I_r : Intensitas radiasi matahari (*Watt/m²*)

A : Luasan area Permukaan PV Modul (*m²*)

Besarnya daya PV modul (P_{out}) adalah perkalian tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), Aruh hubung singkat (I_{sc}), dan juga FF yang dihasilkan oleh

photovoltaic cell. Berikut adalah penentuan daya maksimal pada persamaan dibawah ini [19]:

$$P_{out} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF \quad (2.2)$$

Keterangan:

P_{out} : Daya maksimal (*Watt*)

V_{oc} : *Open circuit voltage* (V)

I_{sc} : *Short circuit current* (A)

FF : *Fill factor* (%)

Berikut adalah perhitungan untuk menentukan *fill factor* agar besaran *output* daya solar sel (P_{out}) dapat ditentukan pada persamaan dibawah [19]:

$$FF = \frac{V_{mpp} \cdot I_{mpp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}} \quad (2.3)$$

Keterangan:

FF : *Fill factor* (%)

V_{mpp} : *Optimum operating voltage* (V)

I_{mpp} : *Optimum operating current* (A)

V_{oc} : *Open circuit voltage* (V)

I_{sc} : *Short circuit current* (A)

Efisiensi pada sel surya merupakan perbandingan daya yang dapat dibangkitkan oleh sel surya dengan energi *input* yang diperoleh dari *irradiance* matahari. Efisiensi sel surya pula merupakan rasio *output* listrik dari sel surya untuk jumlah energi yang terkesan ada dalam suatu permukaan pada jarak tertentu dari sumber dalam bentuk sinar matahari[20].

Iradiasi *photovoltaic cell* diperoleh dari radiasi sinar matahari di luar atmosfer bumi dihitung dengan menggunakan rapat daya pancaran di permukaan matahari, jari-jari matahari, dan jarak antara matahari dan bumi. Hasil perhitungan iradiasi matahari diperoleh dari persamaan dibawah ini [20]:

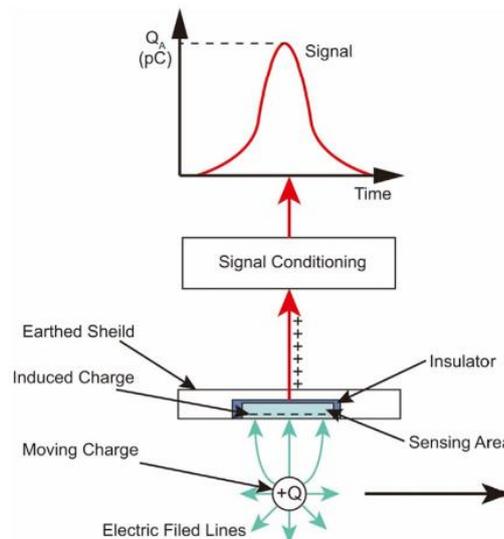
$$I_{total} = \frac{P}{A} = e\sigma T^4 \quad (2.4)$$

Keterangan:

- P : Daya Radiasi ($W = J/s$)
 A : Luas Penampang (m^2)
 σ : Konstanta Stefan Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} W/m^2k^4$)
 e : Emisivitas
 T : Suhu (K)

2.5 Sensor Elektrolisis

Sensor elektrostatis yakni sensor pasif yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektrostatis. Dalam sistem pemantauan elektrostatis, sensor dipergunakan untuk mengidentifikasi perubahan dalam medan elektrostatis di wilayah deteksi, yang dipicu oleh pengaruh muatan yang berada di sekitarnya. Itu prinsip dasar pengukuran elektrostatis diperlihatkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema Sistem Pengukuran Elektrostatis [28]

Berdasarkan Gambar 2.5 memperlihatkan bagaimana muatan yang bergerak menciptakan medan listrik yang dideteksi oleh sensor. Muatan seluler di bagian dalam probe sensor elektrostatis dapat berpindah ke segala arah secara bebas. Ketika partikel bermuatan melewati sensor elektrostatis, muatan seluler di dalam sensor bergerak karena dipengaruhi oleh medan yang dihasilkan oleh muatan eksternal, hingga mencapai permukaan probe sensor. Gerakan muatan dalam sensor menghasilkan aliran arus melalui kabel sinyal, dan sinyal tersebut dapat diukur oleh

pengkondisi sinyal. Setelah partikel bermuatan menjauh dari sensor, muatan di dalam probe sensor kembali ke keadaan netral [29] .

2.6 Arduino

Arduino merupakan turunan dari platform *wiring*, yaitu *microntrroller single board* yang bersifat *open source* serta sangat populer saat ini. Arduino berguna untuk membuat proyek mikrokontroler menjadi lebih mudah bagi semua orang. Gambar Arduino UNO bisa diperlihatkan pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Arduino Uno [30]

Berdasarkan Gambar 2.6 sistem arduino terdiri dari sejumlah komponen penting yang berfungsi bersama untuk mendukung pengembangan proyek elektronik. Pertama dari segi *hardware* chip Atmel AVR yaitu mikrokontroler yang kuat dan hemat energi. Kedua, *software* yang dipergunakan untuk pengembangan Arduino berbasis pada bahasa pemrograman standar C, yang memungkinkan pengguna menulis kode yang efisien dan mudah dipahami. Selain itu, Arduino mempunyai *bootloader* yang sudah dipasang pada chip utamanya, yang memungkinkan Anda memasukkan program ke dalam mikrokontroler dengan mudah tanpa harus menggunakan perangkat pemrogram khusus. Arduino yaitu *platform* yang sangat populer dan mudah diakses oleh pemula dan profesional dalam bidang elektronik dan pemrograman berkat kombinasi ketiga komponen ini [30].

2.7 Modul Amplifier AD620

Modul penguat yaitu perangkat elektronika yang dimaksudkan untuk meningkatkan sinyal listrik sehingga bisa menggapai taraf yang lebih tinggi serta

kuat dari kondisi aslinya. Modul penguat terdiri dari dua potensiometer yang sangat penting, yang pertama dipergunakan untuk mengontrol *gain* penguatan, yang memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan tingkat amplifikasi sesuai dengan aplikasi. Potensiometer kedua mengatur *offset* tegangan keluaran, yang membantu mengontrol dan menstabilkan tegangan *output* sehingga sesuai dengan parameter yang diinginkan. Kombinasi kedua potensiometer ini membuat modul *amplifier* sangat berguna untuk berbagai aplikasi elektronik, seperti pengukuran, komunikasi, dan *audio*. Modul *amplifier* bisa diperlihatkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Modul *Amplifier* AD620 [31]

Gambar 2.7 modul *amplifier* AD620 mempunyai kemampuan untuk beroperasi dalam dua mode, satu mode untuk penguatan tegangan satu polaritas, dan mode *differential* untuk penguatan dua polaritas. Mode *differential* biasanya dipergunakan untuk sensor seperti *bridge* sensor ataupun sensor lain yang menghasilkan keluaran beda ataupun *differential* [31].

2.8 Modul *Bluetooth* HC-05

Bluetooth yakni sarana komunikasi yang memfasilitasi penghubungan antar perangkat komunikasi ke perangkat lainnya. Tujuan utamanya yaitu guna mempermudah proses pengiriman berkas dari perangkat elektronik yang dipergunakan guna berkomunikasi. Gambar *bluetooth* HC-05 bisa diperlihatkan pada Gambar 2.8 dibawah ini.

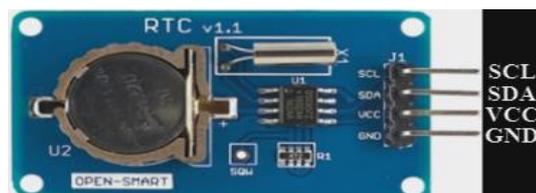


Gambar 2.8 *Bluetooth* HC-05 [32]

Pada Gambar 2.8 *Bluetooth* yaitu suatu teknologi komunikasi nirkabel yang memungkinkan transfer data tanpa kabel. Ini bekerja di pita frekuensi 2,4 GHz, tepatnya antar 2.402 GHz serta 2.480 GHz, dan menggunakan *transceiver frequency hopping* yang bergerak dinamis di antara berbagai frekuensi dalam pita untuk mengurangi interferensi dan meningkatkan keandalan komunikasi. Dengan kecepatan transfer data yang baik dan penggunaan daya yang cukup rendah, *bluetooth* menjadi pilihan yang sempurna untuk berbaring. *Bluetooth* mempunyai jarak jangkauan yang terbatas, biasanya sekitar 10 meter untuk perangkat standar, tetapi dengan penggunaan daya yang lebih tinggi dan perangkat yang mendukung, dapat mencapai hingga 100 meter [32].

2.9 Modul RTC DS1307

Modul RTC DS1307, salah satu jenis RTC, mempunyai kemampuan untuk menyimpan tanggal, bulan, tahun, menit, detik, dan jam [33]. DS1307 yaitu IC *Real-Time Clock* (RTC) serial yang dirancang untuk menyediakan fungsi pencatatan waktu yang sangat baik. Karena menggunakan jalur data dua arah I2C, IC ini cukup memerlukan 2 pin guna komunikasi: satu pin bagi data (SDA) serta satu pin bagi sinyal *clock* (SCL). Philips mengembangkan protokol komunikasi data serial I2C, yang sangat populer karena mudah dipergunakan dan efisien dalam menghubungkan berbagai perangkat. Dengan hanya dua jalur, I2C dapat menghubungkan beberapa perangkat pada satu bus, yang menjadikannya pilihan yang ideal untuk sistem yang mempunyai keterbatasan pin. Dalam berbagai aplikasi, seperti sistem penjadwalan, *log data*, dan perangkat elektronik lainnya yang memerlukan pencatatan waktu yang akurat, DS1307 memanfaatkan keunggulan ini untuk menyediakan waktu yang akurat. I2C sangat populer karena sangat sederhana dan fleksibel, dan dapat berfungsi dengan berbagai kecepatan transfer data, yang membuatnya lebih bermanfaat untuk modul RTC DS1307. Gambar RTC DS1307 bisa diperlihatkan pada Gambar 2.9 [34].



Gambar 2.9 RTC DS1307 [35]

Berdasarkan Gambar 2.9 Penelitian ini menggunakan modul jam waktu *real* (RTC) untuk memperlihatkan data waktu tentang pemakaian daya secara *real time*. Modul RTC yang dipergunakan yaitu DS1307. Ini yaitu RTC serial yang hemat daya yang menawarkan penanggalan dan waktu pada format BCD (Kode Biner Decimal), serta mempunyai SRAM guna penyimpanan data 56 *byte* [35].

2.10 Klasifikasi Gangguan Sel Surya

Faktor-faktor berikut dapat mempengaruhi kerja dan kinerja modul *solar cells* panel [36]:

1. *Ground Fault*

Ground Fault yaitu jenis kerusakan pada sistem listrik yang terjadi ketika ada sambungan listrik antara konduktor yang seharusnya tidak terhubung dengan *grounding*. Dalam kondisi normal, arus listrik mengalir melalui konduktor dan kembali melalui jalur yang telah dirancang secara khusus, seperti kabel *grounding*, untuk mengalirkan arus ke tanah. *Ground fault* dalam array PV dapat terjadi karena *short circuit* antara konduktor pembawa arus dan *ground*. Penyebab *ground fault* yaitu karena kegagalan isolasi kabel ataupun *short circuit* antara konduktor dan juga tanah. Hal ini bisa memicu berbagai masalah serius pada sistem listrik, termasuk risiko kebakaran, kerusakan peralatan, serta bahaya bagi pengguna ataupun petugas listrik yang berada di sekitarnya. Oleh karena itu, deteksi serta penanganan *ground fault* menjadi sangat penting dalam menjaga keamanan serta kinerja sistem listrik.

2. *Shading* (Bayangan)

Shading yaitu sesuatu yang menghalangi aliran tenaga surya. *Shading* terjadi karena terhalangi bayangan seperti bayangan pohon ataupun cerobong asap, karena adanya daya *overhead* ataupun bangunan terdekat. Jika bayangan terdapat dan terjadi pada salah satu panel dalam *string*, maka itu akan mempengaruhi *output* dari seluruh panel dalam *string* dan *output* akan dianggap nol selama ada bayangan.

3. *Arc fault* (Gangguan Busur)

Arc fault terjadi karena aliran muatan listrik yang tinggi antara dua ataupun lebih dari dua konduktor. Pelepasan daya tinggi ini kemudian diubah menjadi panas yang dapat merusak isolasi kawat apapun dapat menyebabkan kebakaran. Kisaran

busur dapat bervariasi dari beberapa ampere hingga beberapa ribu ampere. Kisaran bervariasi tergantung pada kekuatan dan durasi busur.

4. *Hot Spot Fault*

Hot Spot Fault terjadi dikarenakan adanya perbedaan pencahayaan yang diperoleh dari tiap sel pada panel surya, ketidaksesuaian impedansi antara masing-masing sel menyebabkan kerusakan.

5. *Line-line Fault*

Line-Line Fault yakni jenis kerusakan yang terjadi pada sistem tenaga surya yang disebabkan oleh terjadinya hubung singkat antara dua titik yang mempunyai tegangan yang berbeda. Kerusakan ini bisa terjadi didalam satu modul *solar* panel ataupun antara modul dengan modul lainnya. Hubung singkat ini bisa mengakibatkan arus yang tidak terkendali serta bisa merusak komponen-komponen pada sistem tersebut. Oleh karena itu, deteksi serta penanganan *Line-line Fault* menjadi sangat penting dalam menjaga kinerja serta keamanan dari sistem tenaga surya.

2.11 Kajian Pustaka

Beberapa studi menunjukkan bahwasannya deteksi kerusakan ataupun cacat pada sel surya dapat dilaksanakan melalui metode *electroluminescence imaging* dengan menerapkan catu daya *forward bias* sesuai spesifikasi sel surya. Penelitian ini memfokuskan pada keunggulan sensor elektrostatis dibandingkan dengan jenis sensor lainnya, seperti desain dan pemasangan elektroda yang sederhana, sensitivitas tinggi, respon cepat, aksesibilitas yang luas, dan ketahanan yang baik. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan penggunaan sensor elektrostatis dan konfigurasi secara khusus untuk aplikasi yang melibatkan muatan elektrostatis. Evaluasi sensor elektrostatis yang canggih dan implementasinya menunjukkan kemajuan signifikan dalam pengembangan sensor elektrostatis untuk mengukur aliran padatan secara pneumatik dan mengukur emisi partikulat selama dekade terakhir. Oleh sebab itu, adanya berbagai hambatan yang wajib dibenahi sebelum sistem ini bisa sepenuhnya beroperasi dalam sektor industri lainnya [37].

Penelitian berikutnya melibatkan penggunaan kamera DSLR yang telah dimodifikasi dengan menghapus lensa *infra red cutfilter*. Dalam metode ini, tegangan yang sesuai dengan spesifikasi sel surya ditetapkan untuk menghasilkan gambar *electroluminescence*. Kerusakan seperti retakan pada sel surya akan terlihat dalam gambar yang direkam oleh kamera. Setelah itu, gambar yang direkam oleh kamera. Setelah itu, gambar yang dihasilkan akan diproses menggunakan teknologi citra, dengan menerapkan perangkat lunak YOLO v3 untuk analisis lebih lanjut [38].

Penelitian berikutnya membahas evaluasi kinerja dan kondisi operasional modul PV dan sel surya, yang sangat bergantung pada potensi ataupun tegangan elektrostatik yang dimiliki oleh mereka. Jika terdapat metode non-kontak untuk mengukur potensi ataupun tegangan elektrostatik, hal ini dapat memberikan manfaat besar dalam penilaian modul PV dan sel surya. Dalam penelitian ini, dipergunakan voltmeter elektrostatik dengan tingkat akurasi tinggi untuk melaksanakan pengukuran tegangan sel surya tanpa kontak pada struktur modul PV. Alat pengukur tegangan dipergunakan untuk mengukur nilai tegangan, sementara potensial listrik diukur menggunakan voltmeter elektrostatis yang terbukti akurat. Voltmeter elektrostatis non-kontak ini mampu mengukur tegangan sel surya dalam struktur modul dengan tingkat kesalahan sekitar 0,01 V. Selain itu, pengaruh suhu terhadap tegangan diukur dengan alat pengukur tegangan, dan potensial listrik diukur menggunakan voltmeter elektrostatis [39].

Penelitian selanjutnya membahas tentang sensor gaya mikro ini dikembangkan menggunakan film kurva Galfenol, yang mengadopsi model kopling dinamis J-A dan memanfaatkan metode efek magneto-mekanis. Induksi koil dipergunakan sebagai alat deteksi untuk menghasilkan karakteristik pasif. Hasil eksperimen memperlihatkan bahwasannya sensor ini memperlihatkan linearitas yang baik ketika gaya eksternal berada dalam rentang 0 hingga 10 N, terutama pada kisaran 3 hingga 10 N. Sensitivitasnya yaitu 0,1537 mV/N dengan kesalahan pengulangan sebesar 1,07%. Untuk sistem akuisisi sinyal, dipergunakan Arduino sebagai mikrokontroler utama, dengan modul *amplifier* dan konverter AD 620 yang dipilih untuk mengelola sinyal lemah. Sistem ini juga dapat terhubung dengan terminal seluler dan *platform cloud Internet of Things* melalui modul WiFi [40].

Dalam penelitian berikutnya, komponen *bluetooth* HC-05 dipergunakan untuk mengirimkan data antara ponsel android dan mikrokontroler ataupun antara ponsel android dan mikrokontroler. *Framework* terlebih dahulu mengaktifkan ponsel kemudian menghubungkan koneksi *bluetooth* arduino dengan *bluetooth* android, nama *bluetooth* HC-05 dan *password* 1234. Jika terhubung, pengguna bisa membuka aplikasi Blynk di ponsel, kemudian pengguna bisa memulai jalur listrik di setiap ruangan, setelah itu pengguna bisa mengamati kabel listrik setiap ruangan dengan memperlihatkan informasi arus serta tegangan setiap ruangan pada LCD 4x16, Bisa juga ditampilkan pada aplikasi handphone yang dibuat dimana penggunaan arus serta tegangan tiap ruangan wajib terlihat serta daya yang dipergunakan user per ruangan dibatasi 2 Amps (440 Watt), struktur akan mematikan sambungan listrik jika pemakaian daya di ruangan melebihi batas maksimal. Kemudian, struktur akan mengirimkan data kepada pengguna tentang bahwasannya penggunaan daya di ruangan melebihi batas maksimal. Untuk mengaktifkan kembali, pengguna bisa menekan tombol pada aplikasi guna menghidupkan kembali saluran listrik di ruangan yang sebelumnya dimatikan. [41].

Berdasarkan referensi yang didapatkan, pengukuran sel surya menggunakan *surface potential sensor* dalam studi ini nantinya dilaksanakan melalui menggunakan sensor elektrostatis yang akan mengukur sel surya melalui permukaannya. Sensor ini terdiri dari 2 buah plat tembaga yang akan dipergunakan sebagai detektor medan elektrostatis. Selain menggunakan sensor elektrostatis penelitian ini menggunakan modul *amplifier* AD620 sebagai penguat hasil yang didapat dari sensor elektrostatis supaya pembacaan pada mikrokontroler lebih terlihat.