

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tenaga listrik merupakan salah satu jenis energi yang sangat diperlukan dalam pembangunan. Oleh karena itu dengan pertumbuhan ekonomi yang diperkirakan sekitar 7%-10% per tahun sampai tahun 2025, konsumsi listrik Indonesia akan meningkat dengan cepat (Sukmajati & Hafidz, 2015). Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan dasar masyarakat dimanapun. Baik di negara berkembang seperti Indonesia, maupun negara-negara maju. Kebutuhan energi listrik di dunia dari tahun ke tahun semakin meningkat seiring dengan perkembangan peradaban manusia. Sementara itu, suplai energi listrik yang bersumber dari minyak bumi, gas bumi, dan batu bara memiliki beberapa keterbatasan, antara lain tidak dapat terbaharukan, pencemaran, dan kerusakan lingkungan yang dihasilkan ketiga sumber energi ini dalam jangka pendek maupun jangka panjang. Pada sisi lain, energi listrik dari sumber terbarukan, seperti panas bumi, angin/bayu, tenaga surya, biomassa, arus laut, hingga ombak belum dapat dimanfaatkan secara maksimal (Mahyuddin, 2013). PT PLN (Persero) mencatat kenaikan penjualan listrik sebesar 8,42% secara year on year (yoy) menjadi 65,42 Terra Watt hour (TWh) pada Kuartal I-2022 ini (Guitarra, 2022).

Pemanfaatan energi terbarukan diantaranya dengan memanfaatkan tenaga radiasi matahari menggunakan sel surya sebagai pengkonversi energi matahari menjadi energi listrik yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Energi surya merupakan energi potensial dikembangkan di Indonesia, dengan alasan Indonesia berada di garis khatulistiwa. Keunggulan energy surya diantaranya: (1) sumber energy yang mudah didapatkan, (2) ramah lingkungan, (3) sesuai dengan berbagai macam geografis, (4) instalasi pengoperasian dan perawatan mudah, dan

(5) listrik dari energy surya dapat disimpan dalam baterai sehingga bisa digunakan pula pada malam hari atau ketika cuaca mendung (Sukmajati & Hafidz, 2015).

Photovoltaic yaitu suatu proses yang dapat merubah sinar matahari menjadi energi listrik secara langsung dengan bantuan sel surya. Panel sel surya ini disusun sedemikian rupa untuk mengkonversi radiasi matahari menjadi energy listrik yang kemudian dengan modul alat inverter disesuaikan tegangannya menjadi tegangan konsumsi sesuai standard PLN. . Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi daya keluaran sel surya adalah radiasi matahari, temperatur sel surya, orientasi panel surya, sudut kemiringan panel surya, dan pengaruh bayangan.

Beberapa studi memproyeksikan bahwa biaya pembangkit listrik tenaga surya untuk masa depan semakin murah. Hal ini memberikan harapan untuk membuat perencanaan penggunaan energi surya dalam skala global. Dengan semakin tingginya biaya energy fosil serta keterbatasan kemampuan investasi PLN dalam meningkatkan ketersediaan energy dengan membangun pembangkit baru maka keterlibatan masyarakat perlu ditingkatkan dan kebijakan perlu diarahkan untuk mendukung pemanfaatan photovoltaic sebagai program nasional.

Dalam menjalankan fungsinya komponen-komponen PLTS tentunya memiliki penurunan performa seiring umur pakainya yang dapat diketahui dari efisiensinya. Oleh karena itu, penulis tertarik untuk mengambil judul penelitian “Analisis Efisiensi Photovoltaic Pada Prototype Solarcell 430 wp di UHN Medan”. Penelitian ini dilakukan secara experimental dengan pengambilan data daya yang dihasilkan Pada Prototype Solarcell 430 wp yang nantinya akan dianalisis untuk mengetahui efisiensi dari Photovoltaic Pada Prototype Solarcell 430 wp saat ini.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang dalam penelitian ini yaitu :

1. Seberapa besar efisiensi Photovoltaic Pada Prototype Solarcell 430 wp PLTS UHN Medan saat ini?

2. Apa saja faktor yang menyebabkan penurunan efisiensi tersebut?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dalam penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui besar efisiensi saat ini
2. Untuk mengetahui faktor-faktor penyebab penurunan efisiensi

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Pengukuran Photovoltaic Pada Panel Prototype Solarcell 430 wp PLTS UHN Medan
2. Pengukuran dilakukan pada saat adanya radiasi matahari

1.5 Metodologi Penelitian

Untuk memenuhi kelengkapan data-data penelitian maka metodologi yang digunakan yaitu :

1. Studi Literatur

Yang berasal dari sumber-sumber buku, media cetak, jurnal, internet yang berkaitan dengan penelitian

2. Diskusi Interaktif

Diskusi dilakukan dengan pihak yang paham mengenai PLTS untuk memberikan informasi

3. Pengamatan dan pengambilan data Photovoltaic Pada Prototype Solarcell 430 wp

Pengamatan dan pengambilan data Photovoltaic Pada Prototype Solarcell 430 wp dengan menggunakan alat ukur solar power meter ke PLTS UHN Medan.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika Penulisan dalam penelitian ini sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Pendahuluan membahas tentang latar belakang masalah, tujuan pembahasan, rumusan masalah, batasan masalah, metode pembahasan, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN TEORI

Berisikan tentang teori umum Photovoltaic Pada Prototype Solarcell 430 wp dan komponen pendukung beserta fungsi-fungsinya.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Berisikan tentang metodologi pengambilan data penelitian serta analisis data yang diperoleh

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

Berisikan tentang analisa data lapangan pada PLTS UHN

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisikan tentang kesimpulan dan saran yang didapat penulis selama melakukan penelitian.

BAB II

TINJAUAN TEORI

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan pembangkit energi listrik yang bersumber dari pemanfaatan radiasi sinar matahari. Radiasi sinar matahari yang sampai kepermukaan bumi disebut insolation (incoming solar radiation). Sistem photovoltaic adalah sistem yang mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik. Untuk dapat memanfaatkan radiasi sinar matahari yang sampai kebumi agar mendapatkan energi listrik dibutuhkan modul photovoltaic (Wisnugroho, Widyanto, Ma'muri, & Agus, 2018).

PLTS cocok diterapkan di Indonesia karena Indonesia banyak disinari matahari. Energi surya adalah energi yang sangat baik untuk dikembangkan di Indonesia ini. Energi surya yang dapat digunakan untuk semua daratan Indonesia dengan luas 2 juta km² yaitu sebesar 4,8 kWh/m² dalam setiap satu hari, setara dengan 112.000 GWp yang didistribusikan. Keunggulan-keunggulan energi surya apabila dibandingkan dengan energi fosil adalah sebagai berikut (Hasrul, 2021):

1. Energi surya mudah didapatkan karena berasal dari matahari itu sendiri.
2. Ramah lingkungan.
3. Sesuai dengan kondisi geografis yang bermacam-macam
4. Pemasangan, pengoperasian, serta perawatannya tidak sulit.
5. Energi listrik yang didapatkan dari energy surya bisa disimpan dalam baterai

Kekurangan dan kelemahan penggunaan solar cell, yaitu (Firman, Herlina, & Sidiq, 2017) :

1. Efisiensi konversi energinya rendah.
2. Ketergantungan kepada sinar matahari.
3. Memerlukan sistem penyimpanan energi guna kelangsungan pemakaian.
4. Harga panel masih mahal.
5. Memerlukan permukaan yang luas guna mendapatkan daya yang besar.

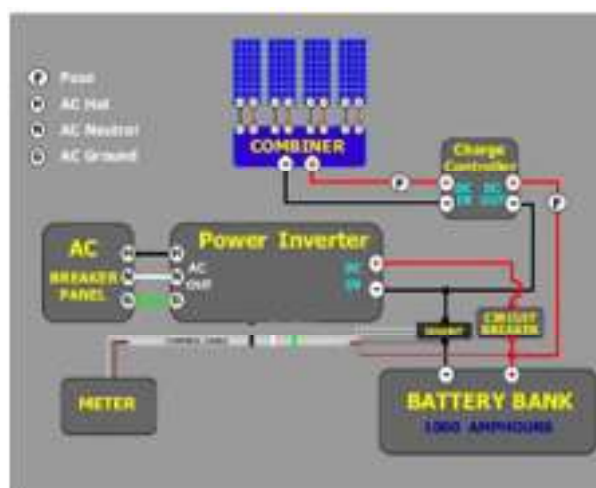
6. Memerlukan inverter, apabila ingin mengubah tegangan bolak-balik.

Faktor yang memengaruhi kerja solar cell (Firman, Herlina, & Sidiq, 2017):

1. Sinar matahari yang kuat.
2. Temperatur yang ada disekitar solar cell.
3. Sudut jatuh atau gerak sinar matahari.
4. Spektrum gelombang yang terkandung dalam sinar matahari.

Bagian-bagian komponen PLTS (Diantari, Erlina, & Widyastuti, 2017):

1. Charge controller, digunakan untuk mengatur pengaturan pengisian baterai. Tegangan maksimum yang dihasilkan panel surya pada hari yang terik akan menghasilkan tegangan tinggi yang dapat merusak baterai.
2. Inverter, adalah perangkat elektrik yang mengkonversikan tegangan searah (DC – direct current) menjadi tegangan bolak balik (AC - alternating current).
3. Baterai, adalah perangkat kimia untuk menyimpan tenaga listrik dari tenaga surya. Tanpa baterai, energi surya hanya dapat digunakan pada saat ada sinar matahari.
4. Diagram instalasi pembangkit listrik tenaga surya ini terdiri dari panel surya, charge controller, inverter, baterai.

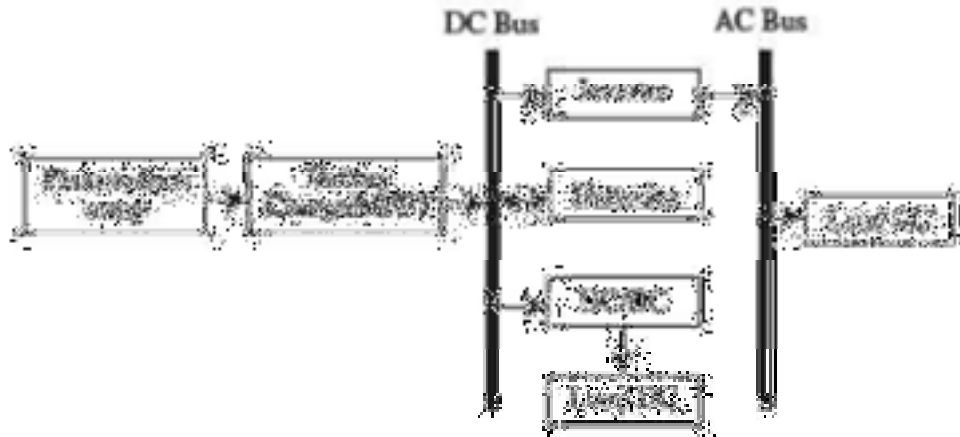


Gambar 2.1 Diagram Instalasi PLTS

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah suatu teknologi pembangkit yang mengkonversikan energi foton dari surya menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada Photovoltaic modul yang terdiri dari sel surya. Sel surya merupakan lapisan-lapisan tipis dari silicon (Si) murni dan bahan semikonduktor lainnya. Apabila bahan tersebut mendapat energi foton, akan mengeksitasi elektron yang bergerak bebas dan akhirnya akan mengeluarkan tegangan listrik arus searah. selanjutnya rangkaian photovoltaic modul akan membentuk suatu photovoltaic array. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC (direct current) yang dapat diubahnya menjadi listrik AC (Alternating current) apabila diperlukan. Berdasarkan lokasi pemasangan sistem PLTS dibagi menjadi dua jenis yaitu, sistem PLTS pola tersebar (distributed PV plant) dan sistem PLTS pola terpusat (centralized PV plant). Berdasarkan aplikasi dan konfigurasi, secara garis besar PLTS diklasifikasikan menjadi dua yaitu, sistem PLTS yang tidak terhubung jaringan (off-grid PV plant), atau yang lebih dikenal dengan sebutan PLTS berdiri sendiri (stand alone) dan sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan (on-grid PV plant) atau lebih dikenal dengan sebutan PLTS grid-connected. Apabila PLTS dalam penggunaannya digabung dengan jenis pembangkit listrik lain disebut sistem hybrid (Kurniawan, 2016).

1. Off Grid System

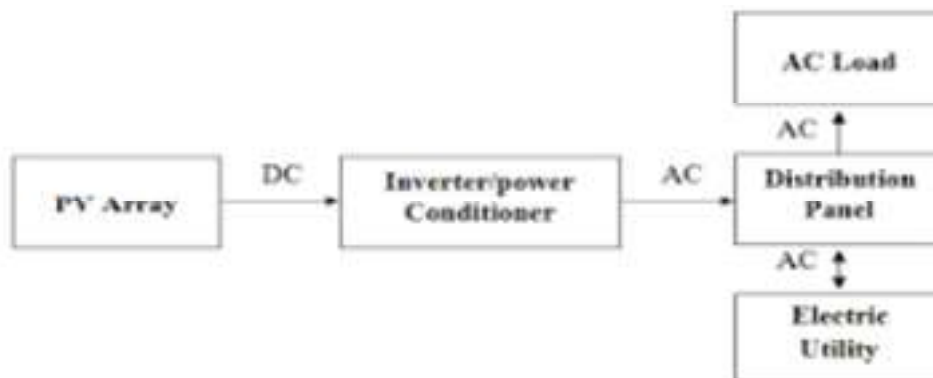
PLTS off-grid merupakan sistem PLTS yang tidak terhubung dengan jaringan. Sistem ini berdiri sendiri, sering disebut dengan stand-alone system. Sistem ini biasanya merupakan sistem dengan pola pemasangan tersebar (distributed) dan dengan kapasitas pembangkitan skala kecil. Untuk sistem ini biasanya dilengkapi dengan storage tenaga listrik dengan media penyimpanan baterai. Diharapkan baterai mampu menjamin ketersediaan pasokan listrik untuk beban listrik saat kondisi cuaca mendung dan kondisi malam hari. Berdasarkan aplikasinya sistem ini dibagi menjadi dua yaitu PLTS off-grid domestic dan PLTS off-grid non domestic (Kurniawan, 2016)



Gambar 2.2 Diagram stand alone system

2. On-Grid System

PLTS on-grid merupakan pembangkit listrik yang menggunakan sinar matahari melalui sel surya (Photovoltaic) untuk mengkonversikan radiasi elektromagnetik berupa gelombang dan sinar foton matahari menjadi energi listrik. Berdasarkan pola operasi sistem tenaga listrik ini dibagi menjadi dua yaitu sistem dengan penyimpanan (storage) atau disebut grid-connected pv with a battery back up, menggunakan baterai sebagai cadangan dan penyimpanan tenaga listrik dan tanpa baterai atau disebut grid-connected pv without a battery back up. Baterai pada PLTS on-grid berfungsi sebagai suplai tenaga listrik untuk beban listrik apabila jaringan mengalami kegagalan untuk periode tertentu dan sebagai suplai tenaga listrik ke jaringan listrik negara (PLN) apabila ada kelebihan daya listrik (exces power) yang dibangkitkan PLTS. Berdasarkan aplikasinya sistem ini dibagi menjadi dua yaitu, grid-connected distributed pv dan grid-connected centralized pv (Kurniawan, 2016)



Gambar 2.3 Diagram sistem PLTS grid-connected

Prinsip kerja PLTS sistem on-grid dapat diuraikan berikut ini (Kurniawan, 2016) :

1. Pada siang hari, modul surya yang terpasang akan mengkonversi sinar matahari menjadi energi listrik arus searah (DC). Selanjutnya sebuah komponen yang disebut grid inverter merubah listrik arus DC tersebut dari PV menjadi arus bolak-balik (AC) yang kemudian dapat digunakan untuk mensuplai berbagai peralatan rumah tangga. Jadi pada siang hari,kebutuhan energi listrik berbagai peralatan disuplai langsung oleh modul surya. Jika kondisi ini terdapat kelebihan energi dari PV maka kelebihan energi ini dapat dijual ke PLN sesuai kebijakan.
2. Pada malam hari atau jika kondisi cuaca mendukung maka peralatan akan tetap disuplai PLN. Hal ini dimungkinkan karena sistem ini tetap terkoneksi dengan jaringan PLN. Selain itu sistem PLTS on-grid ini dapat menggukan baterai sebagai cadangan atau backup energi. Sistem ini disebut sebagai grid-connected pv system with batteray backup. Sistem ini berfungsi sebagai backup energi listrik untuk menjaga kontinuitas operasional peralatan-peralatan elektronik. Jika suatu saat terjadi kegagalan pada suplai listrik PLN (pemadaman listrik) maka peralatan elektronik dapat beroperasi secara normal dalam jangka waktu tertentu tanpa adanya gangguan

2.2 Sel Surya (solar cell)

Sel surya adalah suatu elemen aktif yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. Prinsip dasar pembuatan sel surya adalah memanfaatkan efek surya yaitu suatu efek yang dapat mengubah langsung cahaya matahari menjadi energi listrik.

Berbagai penelitian yang pernah dilakukan untuk meningkatkan efesiensi terkait dengan analisis sistem sel surya baik itu berdasarkan tinjauan dalam meningkatkan kinerja yang dinyatakan dengan keluaran energi sistem sel surya dan energi panas. Proses perubahan energi cahaya matahari menjadi energi listrik ini dapat berlangsung pada material semikonduktor yang mempunyai dua area yang berbeda, dimana satu area mempunyai kelebihan elektron dan area

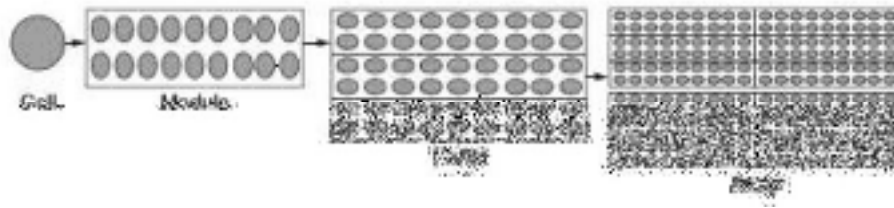
yang lain kekurangan elektron. Pada umumnya material semikonduktor ini terbuat dari silikon yang pada penggunaannya dikategorikan berdasarkan bentuk menjadi 2 yakni kristal dan non kristal. Sel surya mempunyai banyak aplikasi, diantaranya sangat berguna pada situasi dimana energi listrik masih jarang atau sulit didapatkan seperti di daerah terpencil dan juga satelit buatan manusia yang mengorbit bumi di luar angkasa. *Photovoltaic* (PV) adalah suatu sistem teknologi yang secara langsung mentransfer radiasi matahari atau energi cahaya menjadi energi listrik. Sistem *photovoltaic* bekerja dengan prinsip efek *photovoltaic*. Efek *photovoltaic* pertama kali ditemukan oleh *Henri Becquerel* pada tahun 1839. Efek *photovoltaic* adalah fenomena dimana satu sel *photovoltaic* dapat menyerap energi cahaya dan mengubahnya menjadi energi listrik. Efek *photovoltaic* didefinisikan sebagai suatu munculnya voltase listrik akibat kontak dua elektroda yang dihubungkan dengan sistem padatan atau cairan saat diexpose dibawah energi cahaya. Radiasi cahaya terdiri dari biasanya foton-foton yang memiliki tingkat energi yang berbeda-beda. Perbedaan tingkat energi foton cahaya inilah yang akan menentukan panjang gelombang dari spektrum cahaya. Ketika foton mengenai permukaan suatu sel PV, maka foton tersebut dapat dibiarkan, diserap, ataupun diteruskan menembus sel PV. Foton yang diserap oleh sel PV inilah yang akan memicu timbulnya energi listrik. Sel PV adalah suatu perangkat yang mengkonversi energi radiasi matahari menjadi energi listrik. Pada dasarnya mekanisme konversi energi cahaya terjadi akibat adanya perpindahan elektron bebas didalam suatu atom. Konduktivitas elektron atau 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 suatu padatan dan seperti logam, konduktivitas listriknya juga ditentukan oleh elektron valensinya. Namun, berbeda dengan logam yang konduktivitasnya menurun dengan kenaikan temperatur, material semikonduktor konduktivitasnya akan meningkat secara significant.

2.3 Photovoltaic

Photovoltaic adalah komponen utama pada pembangkit listrik tenaga surya. *Photovoltaic* merupakan suatu teknologi yang berfungsi untuk mengkonversikan energi matahari menjadi energi listrik, perubahan energi ini disebut sebagai efek *photoelectric*. Jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh modul *photovoltaic* bergantung kepada tenaga surya yang tersedia, dan yang sangat khususnya, bergantung kepada arah modul surya terhadap matahari.

Penggunaan *photovoltaic* dapat dikatakan sangat menguntungkan karena langsung diambil dari matahari tanpa bahan bakar. Hal yang mempengaruhi performa dari *photovoltaic* adalah kondisi klimatologi. Kondisi klimatologi yang dimaksud meliputi temperatur dan radiasi matahari. Radiasi merupakan jumlah tenaga surya yang tersedia per satuan luas. Jika hal ini terjadi selama periode tertentu maka disebut sebagai irradiance. Besar arus yang dihasilkan oleh *photovoltaic* berbanding lurus dengan besar irradiance yang masuk ke dalam sel surya. Besar irradiance berubah sesuai dengan pergeseran posisi matahari dan cuaca. Umumnya, energi matahari yang dikonversi menjadi energi listrik hanya memiliki efisiensi sebesar 10%. Efisiensi tersebut akan berkurang nilainya karena dipengaruhi oleh peralatan listrik berupa pengatur tegangan, baterai, dan inverter.

Pada saat siang hari, tenaga surya yang mencapai permukaan bumi dapat memiliki nilai energi puncak sebesar satu kilowatt (1 kW) per meter persegi per jam. Pada aplikasinya, tenaga listrik yang dihasilkan oleh satu modul *photovoltaic* masih cukup kecil, maka untuk mendapatkan tegangan maupun arus yang lebih besar maka *photovoltaic* ini dapat digabungkan dengan cara hubungan seri maupun paralel yang disebut array.



Gambar 2.4 Diagram Hubungan Antara Cell, Modul, Panel, dan Array

2.4 Prinsip Kerja Photovoltaic

Photovoltaic bertujuan untuk mengkonversikan cahaya matahari menjadi energi listrik. Cahaya matahari merupakan salah satu bentuk energi dari sumber daya alam yang tidak akan habis. Sehingga *photovoltaic* dapat menghasilkan energi listrik dalam jumlah yang tidak terbatas. Pada prinsipnya, sel surya dapat dianalogikan sebagai alat yang memiliki dua buah terminal atau sambungan, dimana pada saat kondisi gelap sel surya akan berfungsi seperti dioda dan pada saat sel surya disinari cahaya matahari maka akan sel surya akan menghasilkan tegangan. Umumnya, satu sel surya dapat menghasilkan tegangan dc sebesar 0,5-1 volt, dan arus short-circuit dalam skala milliamperere per cm². Besar tegangan dan arus ini tidak cukup untuk berbagai aplikasi, sehingga umumnya Universitas Sumatera Utara sejumlah sel surya disusun secara seri membentuk modul surya. Satu modul surya biasanya terdiri dari 28-36 sel surya, dan total menghasilkan tegangan dc sebesar 12 V dalam kondisi penyinaran standar. Dalam mengkonversikan energi cahaya menjadi energi listrik terdapat 5 kondisi, yaitu :

- Kondisi Pertama

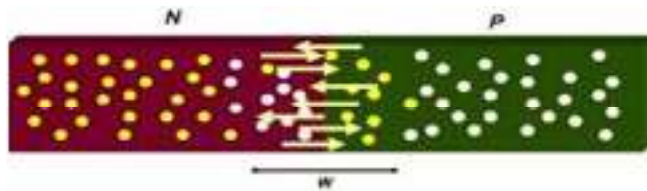
Pada kondisi ini jenis semikonduktor tipe p dan tipe n belum tersambung ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5 Kondisi Semikonduktor Masih Terpisah

- Kondisi Kedua

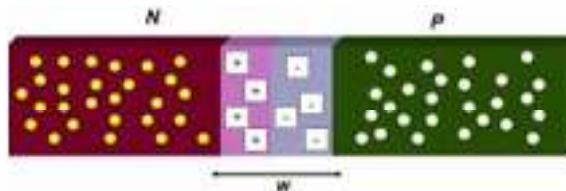
Pada kondisi ini kedua semikonduktor telah tersambung. Sehingga, terjadi perpindahan elektron-elektron dari semikonduktor n menuju semikonduktor p , dan perpindahan *hole* dari semikonduktor p menuju semikonduktor n , pertemuan antara bagian p dan bagian n ini dinamakan *Pnjunction*. Terlihat pada gambar 2.6



Gambar 2.6 Kondisi Pada Saat Kedua Semikonduktor Tersambung

- Kondisi Ketiga

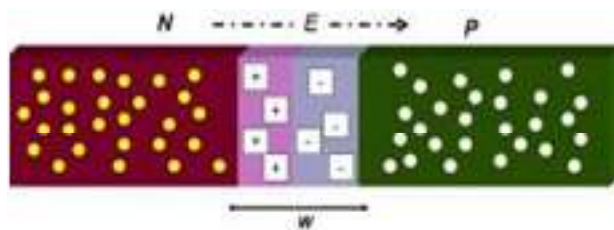
Pada kondisi ketiga ini elektron dari semikonduktor n bersatu dengan *Hole* pada semikonduktor p . Terlihat pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Kondisi Pada Saat Elektron Bersatu dengan *Hole*

- Kondisi Keempat

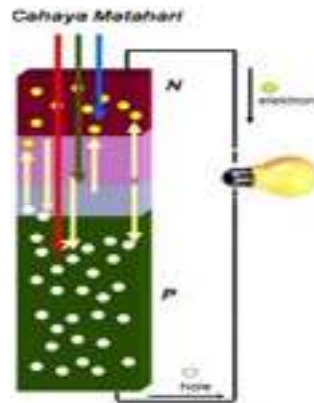
Pada kondisi ini akan timbul medan listrik internal (E) secara sendirinya dikarenakan adanya perbedaan antara muatan positif dan negatif pada daerah deplesi. Terlihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Kondisi Pada Saat Timbulnya Medan Listrik Internal

- Kondisi Kelima

Pada kondisi ini sambungan p-n inilah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi. Terlihat pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Proses Terjadinya Radiasi Matahari Menjadi Listrik

2.5 Panel Surya

Panel Surya atau biasa disebut dengan Solar Cell merupakan suatu elemen aktif yang mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik yang pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan kutub negatif. Prinsip dasar dari pembuatan panel surya adalah efek Photovoltaic. Photovoltaic adalah efek yang dapat mengubah langsung cahaya matahari menjadi energi listrik. Prinsip ini pertama kali dikenalkan oleh Bacquerel yaitu seorang ahli fisika berkebangsaan Perancis tahun 1839. Apabila terdapat sebuah logam dikenai suatu cahaya berupa foton dengan frekuensi tertentu, energi kinetic dari foton akan menembak keatom atom logam tersebut. Atom logam yang diradiasi akan melepaskan elektron-elektronnya yang disebut elektron bebas. Elektron bebas ini akan mengalirkan arus dengan jumlah tertentu (Mallvino, 1986).

Cara kerja panel surya adalah dengan memanfaatkan teori cahaya sebagai partikel, yang mana cahaya baik yang tampak maupun yang tidak tampak mempunyai dua sifat yaitu dapat sebagai gelombang dan dapat pula sebagai partikel yang biasa disebut dengan foton. Penemuan ini pertama kali pertama kali diungkapkn oleh seorang fisikawan ternama yaitu Einstein tahun 1905. Besarnya

energi yang dipancarkan oleh sebuah cahaya dengan panjang gelombang tertentu dapat dicari dengan rumus berikut:

$$\lambda.E = h.c \quad (2.1)$$

Dimana: h = konstanta Plancks (6.62×10^{-34} J.s)

c = kecepatan cahaya dalam vacuum (3×10^8)

E = energi

λ = panjang gelombang cahaya

Yang mana menunjukkan bahwa foton dapat dilihat sebagai sebuah partikel energi atau gelombang dengan nilai panjang gelombang dan nilai frekuensi tertetu (Green, 2006).

Panel surya merupakan semikonduktor yang radiasi surya yang mengenainya langsung diubah menjadi energi listrik. Material yang sering digunakan dalam pembuatan panel surya adalah silikon kristal yang mana dimurnikan hingga satu tingkat yang tinggi. Atom merupakan partikel yang membentuk suatu unsur dan terdiri dari inti bermuatan positif yang biasa disebut proton dan neutron bermuatan netral. Inti atom dikelilingi oleh elektron bermuatan negatif. Sebuah atom silikon terdiri dari sebuah inti yang berisi proton dan dikelilingi oleh 14 elektron yang beredar dalam lintasan tertentu. Jumlah maksimum dari elektron dalam tiap lintasan mengikuti pola $2n^2$, yang mana n adalah nomor lintasan dari atom. Ketika atom-atom silikon bergabung membentuk zat padat, maka atom-atom tersebut akan membentuk suatu pola teratur yang disebut sebagai kristal. Satu atom silikon mempunyai 4 elektron valensi dan 4 atom tetangga. Setiap atom tetangga memberikan sebuah elektron yang dipakai bersama-sama dengan atom yang berada di tengah. Karena atom yang ditengah mendapatkan tambahan 4 elektron dari tetangga maka jumlah elektron valensi menjadi 8 buah, karena inti atom yang berdekatan memiliki

muatan positif akan menarik elektron-elektron yang dipakai bersama sehingga menciptakan gaya yang sama besar akan tetapi berlawanan arah.

Penarikan dalam arah yang berlawanan ini menyebabkan atom-atom akan terikat dalam ikatan kovalen (Malvino, 1986). Penggambaran kinerja sel surya secara garis besar ditekankan pada karakteristik dari arus keluaran yang dihasilkan. Tidak mudah memprediksi karakteristik dari kinerja masing-masing material karena perbedaan material penyusunnya. Hal ini mengakibatkan pemodelan terhadap karakteristik yang dimiliki. Pada tahun 2002 dilakukan peninjauan pengaruh ukuran butir kristal terhadap kinerja panel surya melalui pemodelan terhadap panel surya berbasis lapisan tipis silikon polikristal. Munculnya inefisiensi sel surya diakibatkan oleh temperature operasional yang telah dikaji secara teoritis melalui pemodelan terhadap triple junction berbasis InGaP/GaAs/As (Sander, 2007). Solar sel mulai populer dalam waktu dekat ini, karena menipisnya cadangan energi fosil dan adanya pemanasan global. Selain itu, energi yang dihasilkan sangat mudah dan murah karena memanfaatkan sumber energi matahari dapat diperoleh secara gratis. Untuk gambar skema sel surya terdapat pada gambar 2.10



Gambar 2.10 Skema Sel Surya

2.6 Sejarah Panel Surya

Matahari merupakan salah satu bintang raksasa pada alam semesta. Matahari ini menyediakan berbagai macam energi tidak terbatas di dalamnya. Dengan perkembangan teknologi, energi matahari dapat dimanfaatkan sebagai alternatif sumber energi listrik yang banyak dibutuhkan oleh umat manusia, yang artinya matahari menghasilkan energi listrik dengan menggunakan teknologi panel tenaga surya.

Pertama kali aliran listrik matahari (surya) ditemukan oleh Alexander Edmond Beequerel seorang ahli fisika dari Jerman abad ke-19 yang menangkap peristiwa secara kebetulan berkas sinar matahari mengenai larutan elektrolit kimia yang mengakibatkan peningkatan muatan elektron. Kemudian pada abad ke-20 Albert Einstein memulai untuk mengembangkan penemuan tersebut yang kemudian menamai penemuan Alexander Edmond Beequerel dengan nama "Photoelectric Effect" yang menjadi dasar pengertian dari "Photovoltaic Effect". Einstein melakukan pengamatan pada sebuah lempeng metal yang melepaskan foton partikel energi cahaya ketika energi matahari mengenainya. Lalu foton-foton tersebut secara terus menerus mendesak atom metal sehingga terjadi partikel energi foton yang bersifat gelombang energi cahaya.

Sinar yang memiliki energi foton tinggi dan gelombangnya pendek dinamakan sinar "ultraviolet". Sebaliknya sinar yang memiliki energi foton rendah dan memiliki gelombang panjang diberi nama "infrared". Sekitar tahun 1930 hasil pengamatan Einstein menemukan konsep baru yaitu Mekanika Kuantum yang digunaknakan untuk menciptakan teknologi solid state. Kemudian teknologi ini dimanfaatkan oleh Bell Telephone Research Laboratories untuk membuat sel surya yang pertama kalinya. Dengan perkembangan zaman pemanfaatan dan penampakan sel surya semakin berkembang. Pada tahun 1950-1960 sel surya siap diaplikasikan ke pesawat ruang angkasa. Kemudian perkembangan semakin pesat terjadi pada tahun 1970 yang mana sel surya diperkenalkan secara besar-besaran ke seluruh penjuru dunia sebagai energi alternative terbarukan dan ramah lingkungan. Oleh sebab itu, PV mulai

diaplikasikan pada Low Power Warning System dan Offshore Buoys. Namun masih terdapat kendala belum dapat membuat PV dalam jumlah banyak karena pada saat itu masih diproduksi secara manual. Barulah pada tahun 1980-an perusahaan-perusahaan membuat PV dan bekerjasama dengan pemerintah agar produksi dapat dilakukan semakin banyak dengan biaya yang lebih murah (Pahlevi, 2014).

2.7 Jenis-jenis panel surya

1. Monokristal (Mono-crystalline). Merupakan panel yang paling efisien yang dihasilkan dengan teknologi terkini dan 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.



Gambar 2. 11 Monokristal (Mono-crystalline)

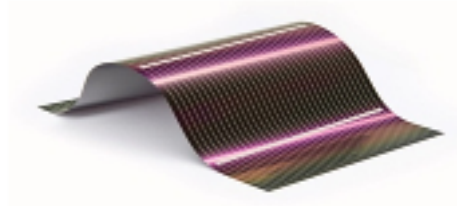
2. Polikristal (Poly-Crystalline). Merupakan Panel Surya yang memiliki susunan kristal acak karena dipabrikasi dengan proses pengecoran. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis monokristal untuk menghasilkan daya listrik yang sama. Panel suraya jenis ini

memiliki efisiensi lebih rendah dibandingkan tipe monokristal, sehingga memiliki harga yang cenderung lebih rendah.



Gambar 2. 12 Polikristal (Poly-Crystalline)

3. 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 dan 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 setara.



Gambar 2. 13 Thin Film Photovoltaic

Faktor dari pengoperasian Sel surya agar didapatkan nilai yang maksimum sangat tergantung pada (Yuliananda, Surya, & Hastijanti, 2015) :

1. Ambient air temperature

Sel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur sel tetap normal (pada 25 °C), kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada sel akan menurunkan nilai tegangan (Voc). Setiap kenaikan temperatur Sel surya 10 Celsius (dari 25°C) akan berkurang sekitar 0,4 % pada total tenaga yang dihasilkan atau akan melemah dua kali (2x) lipat untuk kenaikan temperatur Sel per 10°C.

2. Radiasi matahari

Radiasi matahari di bumi dan berbagai lokasi bervariasi, dan sangat tergantung keadaan spektrum solar ke bumi. Insolation solar matahari akan banyak berpengaruh pada current (I) sedikit pada tegangan.

3. Kecepatan angin bertiup

Kecepatan tiupan angin disekitar lokasi larik sel surya dapat membantu mendinginkan permukaan temperatur kaca-kaca larik sel surya

4. Keadaan atmosfer bumi

Keadaan atmosfer bumi berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara (Rh), kabut dan polusi sangat menentukan hasil maximum arus listrik dari deretan sel surya.

5. Orientasi panel atau larik sel surya

Orientasi dari rangkaian sel surya (larik) ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel/deretan sel surya dapat menghasilkan energi maksimum. Selain arah orientasi, sudut orientasi (tilt angle) dari panel/deretan sel surya juga sangat mempengaruhi hasil energi maksimum. Sebagai guideline: untuk lokasi yang terletak di belahan Utara latitude, maka panel/deretan sel surya sebaiknya diorientasikan ke Selatan, orientasi ke Timur Barat walaupun juga

dapat menghasilkan sejumlah energi dari panel-panel/deretan sel surya, tetapi tidak akan mendapatkan energi matahari optimum.

6. Posisi letak sel surya (larik) terhadap matahari (tilt angle)

Mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel sel surya secara tegak lurus akan mendapatkan energi maksimum $\pm 1000 \text{ W/m}^2$ atau 1 kW/m^2 . Kalau tidak dapat mempertahankan ketegak lurus antara sinar matahari dengan bidang sel surya, maka ekstra luasan bidang panel sel surya dibutuhkan (bidang panel sel surya Sel surya pada Equator (latitude 0 derajat) yang diletakkan mendatar (tilt angle = 0) akan menghasilkan energi maksimum, sedangkan untuk lokasi dengan latitude berbeda harus dicarikan “tilt angle” yang optimum.

2.8 Pengukuran Performa Sel Surya

Performa dari sel surya umumnya direpresentasikan dalam efisiensi. Efisiensi ini sering dijadikan acuan untuk menilai kualitas suatu sel surya dibandingkan dengan sel surya yang lain. Untuk perbandingan efisiensi beberapa jenis sel surya. Efisiensi didefinisikan sebagai rasio dari output energy sel surya terhadap input energy dari matahari. Rapat arus short-circuit (JSC) dan tegangan open-circuit (VOC) didefinisikan sebagai arus dan tegangan maksimum yang bisa di dapat dari sel surya. Daya sel surya mencapai maksimum (P_{max}) pada saat kondisi J_m dan V_m (Helmi & Fitria, 2019).

Perhitungan efisiensi yaitu adapun parameter yang diperhitungkan dalam mengukur performa dari PLTS antara lain (Assiddiq & Bastomi, 2019):

Faktor Pengisian/Fill Faktor

$$FF = \frac{V_m \cdot I_m}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$$

Daya Maksimal Sel Surya P_m (W)

$$P_m = V_m \cdot I_m$$

Daya Keluaran Sel Surya P_{out} (W)

$$P_{out} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF$$

Daya Masuk Sel Surya P_{in} (W)

$$P_{in} = E \cdot A$$

Efisiensi Maksimum Sel Surya η_m (%)

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

Keterangan rumus :

E= Radiasi Matahari (W/m^2)

A= Luas permukaan sel surya (m^2)

FF = Fill faktor

V_m = Tegangan maksimum sel Surya (V)

I_m = Arus maksimum sel Surya (A)

V_{oc} = Open Circuit Voltage (V)

I_{sc} = Short Circuit Curren (A)

η = Efisiensi sel Surya (%)

P_{out} = Daya keluaran sel Surya (W)

P_{in} = Daya masukan sel Surya (W)

Efisiensi panel surya dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut:

1. Suhu

Sebuah panel surya dapat beroperasi secara maksimum jika suhu yang diterimanya tetap normal pada suhu. Kenaikan suhu lebih tinggi dari suhu normal pada panel surya akan melemahkan tegangan (V_{oc}) yang dihasilkan. Setiap kenaikan suhu panel surya $1^\circ C$ (dari $25^\circ C$) akan mengakibatkan berkurang sekitar 0,5 % pada total tenaga (daya) yang dihasilkan.

2. Intensitas Cahaya Matahari

Intensitas cahaya matahari akan berpengaruh pada daya keluaran panel surya. Semakin rendah intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya, maka arus (I_{sc}) akan semakin rendah. Hal ini membuat titik Maximum Power Point berada pada titik yang semakin rendah.

3. Orientasi Panel Surya

Misalnya, untuk lokasi yang terletak di belahan bumi Utara, maka panel surya sebaiknya diorientasikan ke Selatan. Begitu pula untuk lokasi yang terletak di belahan bumi Selatan, maka panel surya diorientasikan ke Utara.

4. Sudut Kemiringan Panel

Mempertahankan sinar matahari jatuh ke sebuah permukaan panel surya secara tegak lurus akan mendapatkan energi maksimum $\pm 1000 \text{ W/m}^2$ atau 1 kW/m^2 . Cara praktis dalam pemasangan panel surya adalah menghadapkannya ke khatulistiwa pada sudut yang sama ditambah 10° .

5. Kecepatan Angin

Kecepatan tiupan angin disekitar lokasi sel surya akan sangat membantu terhadap pendinginan suhu pada permukaan sel surya sehingga suhunya dapat terjaga di kisaran 25° C .

6. Keadaan Atmosfer Bumi

Keadaan atmosfer bumi berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara, kabut dan polusi sangat menentukan hasil maksimum arus listrik dari sel surya.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi dan waktu penelitian ini dilakukan pada Tanggal 15 dan 16 Agustus 2023 di Halaman Universitas HKBP Nommensen Medan, Jalan Sutomo no. 4A, Perintis, Kec. Medan Timur, Kota Medan, Sumatera Utara.

3.2 Peralatan dan Bahan

Adapun peralatan dan bahan-bahan yang digunakan untuk melakukan penelitian ini sebagai berikut :

3.2.1 Panel Surya

1 buah panel surya yang digunakan dalam penelitian ini adalah panel surya tipe Monocrystalline 430 WP seperti gambar berikut ini :



Gambar 3. 1 Panel Surya 430 WP

3.2.2 Spesifikasi Panel Surya

Dalam hal ini bahan yang digunakan untuk system PLTS Off Grid adalah panel surya merek LONGI jenis Mono-crystalline yang berkapasitas 430 Wp Model LR4-72HPH-430M dibuat oleh Cina dan Panel berikut spesifikasinya:

Tabel 3. 1 Spesifikasi Panel Surya 430 WP

SPESIFIKASI	KETERANGAN
Model panel	LR4-72HPH -430M
Daya Maksimum (Pmax)	430 W
Toleransi	$0 \begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix} 5 \text{ W}$
Tegangan Maksimum (Vmp)	40.6 V
Arus Maksimum (Imp)	10.60 A
Open Circuit Voltage (Voc)	49.2 V
Short Circuit Current (Isc)	11.19 A
Maximum System Voltage	1500 V
Maximum Series Fuse Rating	20 A
Operating Temperature	$-40^{\circ}\text{C} \begin{smallmatrix} + \\ - \end{smallmatrix} 85^{\circ}\text{C}$
Application Class	Class A

3.2.3 Multimeter Digital

Fungsi multimeter digital dan yang pertama yakni adalah berfungsi untuk mengukur arus listrik. Alat ukur ini memiliki dua jenis ampere yakni arus DC (Direct Current) dan arus AC (Alternating Current).



Gambar 3. 2 Multimeter Digital

3.2.4 Solar Power Meter

Alat ukur radiasi yang mengukur kerapatan fluks radiasi gelombang pendek matahari (W/m^2).



Gambar 3. 3 Solar Power Meter

3.2.5 Lampu

Dalam percobaan ini beban yang digunakan adalah Lampu Halogen H4 seperti terlihat pada gambar dibawah.



Gambar 3.4 Lampu Halogen H4

Tabel 3.2 Spesifikasi Lampu

Tipe	Halogen H4
Daya (watt)	100/90
Tegangan (volt)	24 Volt
Jumlah Lampu	5 Buah

3.3 Metode Pengumpulan Data

1. Studi Literatur & Persiapan

Dalam studi literatur dilakukan pencarian informasi atau bahan materi baik dari internet, jurnal, maupun sumber-sumber lain yang berkaitan dengan penelitian ini. Materi tersebut diantaranya mengenai penelitian Energi Surya yang dikonversi menjadi energi Listrik Melalui PLTS.

Setelah melakukan studi literatur, kemudian menyiapkan segala sesuatu yang berkaitan dengan penelitian ini. Beberapa persiapan yang dilakukan seperti solar sel itu sendiri, multimeter digital, solari meter, dan beban.

2. Observasi

Observasi dilakukan yaitu dengan memantau cuaca yang terjadi disekitar pengukuran yang akan berpengaruh terhadap hasil dari pengukuran.

3. Data Pengukuran

Pengukuran dilakukan dengan beban maksimum yang dilakukan setiap 30 menit yang dimulai pada pukul 10:00 WIB hingga pukul 16:00 WIB. Pengukuran radiasi matahari dengan menggunakan solar power meter. Solar power meter merupakan alat ukur radiasi matahari yang mengukur kerapatan fluks radiasi gelombang pendek matahari (W/m^2). Pengukuran radiasi penting dalam perencanaan, pengoperasian dalam penelitian ini. Dalam pengujian ini digunakan untuk mengukur besarnya iradiasi dengan mengarahkan solar power meter langsung pada matahari. Prinsip kerjanya terjadi interaksi antara radiasi dengan bahan detektor yang kemudian dapat ditampilkan dalam besaran digital yang ditampilkan dalam display. Solar power meter yang digunakan dalam penelitian untuk mengukur iradiasi pada photovoltaic menggunakan solar power meter berjenis SM206-SOLAR. Kemudian pengukuran daya keluaran energi listrik menggunakan multimeter. Pengukuran yang dilakukan dengan mencari arus dan tegangan pada panel surya prototype 430 wp.

4. Analisa Data

Setelah dilakukan pengukuran daya input dan daya output pada beban maksimum, kemudian dilakukan analisa data sehingga dapat di tentukan efisiensi dari panel surya.

5. Kesimpulan

Dari data yang sudah diolah dalam bentuk tabel dapat diambil beberapa kesimpulan. Seperti berapa radiasi matahari, tegangan, arus, daya serta efisiensi yang dapat dihasilkan oleh panel surya yang di peroleh pada percobaan tersebut

3.4 Flowchart Tahapan Penelitian

Diagram alir dibuat untuk memahami proses penelitian yang dilakukan oleh penulis,

pengambilan data hingga sampai pada kesimpulan akhir.