

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

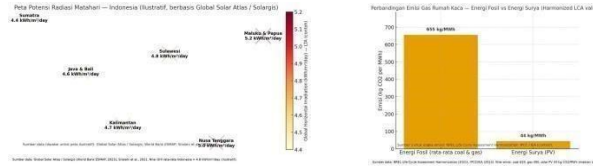
2.1 Landasan Teori

2.1.1 Energi Terbarukan dan Potensi Energi Surya Serta Teori PLTS

Energi terbarukan merupakan energi yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbaharui secara berkelanjutan, seperti energi surya, angin, air, biomassa, dan panas bumi. Pemanfaatan energi terbarukan menjadi bagian penting dalam upaya mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil serta menekan emisi gas rumah kaca. Di Indonesia, pengembangan energi terbarukan terus didorong oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai bagian dari transisi energi nasional.

Indonesia memiliki potensi energi surya yang besar karena letaknya di wilayah tropis dengan rata-rata intensitas radiasi matahari sekitar 4–5,5 kWh/m²/hari. Wilayah Nusa Tenggara Timur, termasuk Atambua, memiliki tingkat penyinaran matahari yang cukup tinggi sehingga berpotensi untuk pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). PLTS bekerja berdasarkan efek fotovoltaiik, yaitu proses perubahan energi cahaya matahari menjadi energi listrik arus searah (DC) melalui sel surya berbahan semikonduktor. Energi DC yang dihasilkan kemudian diubah menjadi arus bolak-balik (AC) menggunakan inverter agar dapat digunakan oleh beban atau disalurkan ke jaringan PLN. Secara umum, sistem PLTS terdiri dari panel surya, inverter, sistem proteksi, dan alat ukur energi.

Pada sistem PLTS atap on-grid, energi yang dihasilkan pada siang hari dapat langsung digunakan untuk menyuplai beban sehingga mengurangi konsumsi listrik dari PLN. Dengan berkurangnya energi impor dari jaringan, maka tagihan listrik pelanggan juga dapat menurun.



Gambar 2.1. Peta potensi radiasi matahari di Indonesia, grafik perbandingan emisi gas rumah kaca dari energi fosil vs. energi surya.

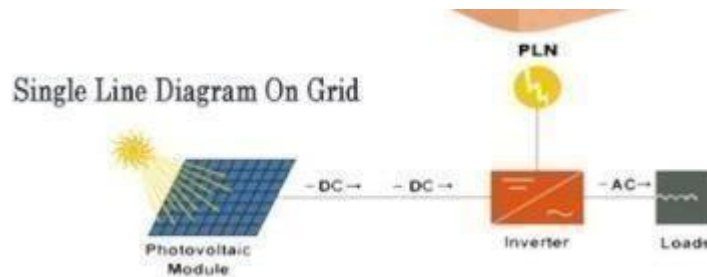
2.1.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan teknologi pembangkit listrik yang memanfaatkan radiasi matahari sebagai sumber energi untuk menghasilkan listrik. PLTS menjadi solusi energi bersih dan berkelanjutan karena menggunakan sumber energi terbarukan, ramah lingkungan, serta tersedia melimpah, khususnya di negara tropis seperti Indonesia. Prinsip kerja PLTS didasarkan pada efek fotovoltaiik, yaitu proses perubahan energi cahaya matahari menjadi energi listrik melalui material semikonduktor.

Komponen utama PLTS terdiri dari sel surya yang dirangkai menjadi modul atau panel surya untuk menghasilkan arus searah (DC). Energi listrik DC tersebut kemudian dikonversi menjadi arus bolak-balik (AC) menggunakan inverter agar dapat digunakan oleh peralatan listrik. Selain itu, sistem PLTS juga dilengkapi dengan kabel, rangka penopang, serta perangkat proteksi untuk memastikan keamanan dan keandalan instalasi.

Berdasarkan skala pemasangannya, PLTS dibedakan menjadi PLTS terpusat dan PLTS terdistribusi. PLTS terpusat berkapasitas besar dan menyalurkan listrik langsung ke jaringan, sedangkan PLTS terdistribusi seperti PLTS Atap dipasang pada bangunan untuk memenuhi kebutuhan listrik sendiri serta mengurangi konsumsi listrik dari PLN. PLTS Atap menjadi solusi yang efektif dan ekonomis untuk mendukung penghematan energi serta pengembangan energi terbarukan di Indonesia.

2.1.3 PLTS Atap (On-Grid dan Off-Grid)



Gambar 2.2. PLTS Atap (On-Grid dan Off-Grid)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap merupakan solusi energi terbarukan yang semakin populer dan menjanjikan, khususnya di wilayah perkotaan dengan kepadatan bangunan yang tinggi. PLTS Atap memungkinkan pemilik bangunan untuk menghasilkan listrik sendiri dari energi matahari yang melimpah, mengurangi ketergantungan pada listrik dari jaringan PLN, dan berkontribusi pada pengurangan emisi gas rumah kaca. Secara umum, terdapat dua jenis PLTS Atap berdasarkan koneksinya dengan jaringan listrik, yaitu PLTS Atap On-Grid (terhubung ke jaringan listrik) dan PLTS Atap Off-Grid (tidak terhubung ke jaringan listrik). PLTS Atap On-Grid, atau yang juga dikenal sebagai PLTS Atap terhubung jaringan, adalah sistem PLTS Atap yang terhubung secara langsung ke jaringan listrik PLN. Dalam sistem ini, listrik yang dihasilkan oleh PLTS Atap digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik bangunan terlebih dahulu. Jika listrik yang dihasilkan lebih besar dari kebutuhan, maka kelebihan listrik tersebut akan diekspor ke jaringan PLN. Sebaliknya, jika listrik yang dihasilkan kurang dari kebutuhan, maka kekurangan listrik akan disuplai dari jaringan PLN.

Keunggulan utama PLTS Atap On-Grid adalah fleksibilitas dan keandalannya. Karena terhubung ke jaringan PLN, sistem ini selalu memiliki sumber listrik cadangan jika produksi listrik dari PLTS Atap tidak mencukupi, misalnya pada saat cuaca mendung atau malam hari. Selain itu, pemilik PLTS Atap On-Grid juga dapat memperoleh pendapatan tambahan dengan

menjual kelebihan listriknya ke jaringan PLN melalui mekanisme net metering. PLTS Atap Off-Grid, atau yang juga dikenal sebagai PLTS Atap mandiri, adalah sistem PLTS Atap yang tidak terhubung ke jaringan listrik PLN. Dalam sistem ini, listrik yang dihasilkan oleh PLTS Atap digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik bangunan secara mandiri. Karena tidak terhubung ke jaringan PLN, PLTS Atap Off-Grid membutuhkan sistem penyimpanan energi, seperti baterai, untuk menyimpan kelebihan listrik yang dihasilkan pada saat cuaca cerah dan digunakan pada saat cuaca mendung atau malam hari.

Keunggulan utama PLTS Atap Off-Grid adalah kemandirian dan independensinya. Sistem ini cocok untuk daerah-daerah terpencil yang belum terjangkau oleh jaringan listrik PLN, atau bagi mereka yang ingin sepenuhnya independen dari jaringan listrik. Namun, PLTS Atap Off-Grid membutuhkan investasi yang lebih besar karena memerlukan baterai dan sistem kontrol yang lebih kompleks. Komponen utama dalam PLTS Atap On-Grid meliputi modul surya, inverter on-grid, meteran listrik bidirectional (untuk mengukur listrik yang diekspor dan diimpor dari jaringan PLN), dan sistem proteksi. Sementara itu, komponen utama dalam PLTS Atap Off-Grid meliputi modul surya, inverter off-grid, baterai, pengatur pengisian baterai (charge controller), dan sistem proteksi.

2.1.4 Net Metering (Sistem Ekspor-Impor Listrik)

Net Metering, atau yang juga dikenal sebagai sistem ekspor-impor listrik, merupakan mekanisme yang memungkinkan pelanggan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap On-Grid untuk menjual kelebihan listrik yang dihasilkan oleh PLTS Atap mereka ke jaringan listrik PLN dan mengkompensasinya dengan konsumsi listrik yang mereka ambil dari jaringan PLN. Dengan kata lain, pelanggan dapat "mengekspor" listrik ke jaringan PLN dan "mengimpor" listrik dari jaringan PLN, dengan selisihnya diperhitungkan dalam tagihan listrik bulanan. Konsep dasar net metering adalah memanfaatkan jaringan listrik PLN sebagai "baterai virtual". Ketika PLTS Atap menghasilkan listrik lebih banyak daripada yang dibutuhkan oleh pelanggan, kelebihan listrik tersebut akan dialirkan ke jaringan PLN dan dicatat oleh meteran listrik bidirectional (dua arah). Meteran ini akan mengukur jumlah listrik

yang diekspor ke jaringan PLN (ekspor) dan jumlah listrik yang diimpor dari jaringan PLN (impor).

Di akhir bulan, PLN akan menghitung selisih antara jumlah listrik yang diekspor dan jumlah listrik yang diimpor. Jika jumlah listrik yang diekspor lebih besar dari jumlah listrik yang diimpor, maka pelanggan akan mendapatkan kredit dari PLN. Kredit ini dapat digunakan untuk mengurangi tagihan listrik di bulan berikutnya, atau bahkan dibayarkan tunai kepada pelanggan jika ada kelebihan kredit yang signifikan. Sebaliknya, jika jumlah listrik yang diimpor lebih besar dari jumlah listrik yang diekspor, maka pelanggan akan membayar tagihan listrik sesuai dengan selisih konsumsi listrik tersebut. Dengan demikian, net metering memungkinkan pelanggan untuk mengoptimalkan pemanfaatan PLTS Atap mereka dan mengurangi tagihan listrik bulanan.

Net metering memberikan berbagai manfaat bagi pelanggan dan PLN. Bagi pelanggan, net metering dapat mengurangi tagihan listrik bulanan secara signifikan, memperoleh pendapatan tambahan dari penjualan kelebihan listrik, dan berkontribusi pada pelestarian lingkungan. Bagi PLN, net metering dapat mengurangi beban puncak (peak load) pada jaringan listrik, meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi, dan mengurangi ketergantungan pada pembangkit listrik konvensional. Implementasi net metering di Indonesia diatur dalam Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (Permen ESDM) Nomor 26 Tahun 2021 tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Atap yang Terhubung pada Jaringan Tenaga Listrik Pemegang Izin Usaha Penyediaan Tenaga Listrik untuk Kepentingan Umum. Regulasi ini mengatur tentang mekanisme net metering, tarif listrik, dan persyaratan teknis untuk pemasangan PLTS Atap On-Grid. Net Metering, atau yang dikenal sebagai sistem ekspor–impor listrik, merupakan mekanisme yang memungkinkan pelanggan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap On-Grid untuk menyalurkan kelebihan energi listrik yang dihasilkan ke jaringan listrik milik PT PLN (Persero), serta mengompensasikannya dengan energi listrik yang diambil dari jaringan tersebut. Melalui mekanisme ini, pelanggan tidak hanya berperan sebagai konsumen energi listrik, tetapi juga sebagai produsen (prosumen) yang dapat berkontribusi terhadap sistem ketenagalistrikan nasional.

Secara konseptual, sistem net metering memungkinkan terjadinya aliran energi dua arah

antara instalasi pelanggan dan jaringan distribusi PLN. Ketika produksi energi dari sistem PLTS Atap melebihi kebutuhan beban listrik pelanggan pada waktu tertentu, kelebihan energi tersebut akan diekspor ke jaringan. Sebaliknya, pada saat produksi energi surya tidak mencukupi, seperti pada malam hari atau saat intensitas radiasi matahari rendah, pelanggan akan mengimpor energi listrik dari jaringan PLN.

Prinsip dasar net metering sering dianalogikan sebagai pemanfaatan jaringan listrik PLN sebagai “baterai virtual”. Dalam konteks ini, jaringan berfungsi sebagai media penyimpanan energi secara tidak langsung, di mana kelebihan energi yang diekspor akan dicatat dan diperhitungkan sebagai pengurang konsumsi energi yang diimpor pada periode penagihan yang sama. Dengan demikian, pelanggan tidak memerlukan sistem penyimpanan energi fisik seperti baterai untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi surya yang dihasilkan.

Penerapan sistem ini didukung oleh penggunaan meteran listrik dua arah (bidirectional meter), yang mampu mengukur secara terpisah jumlah energi listrik yang diekspor ke jaringan (ekspor) dan energi listrik yang diimpor dari jaringan (impor). Data yang tercatat oleh meter tersebut menjadi dasar dalam proses perhitungan tagihan listrik bulanan pelanggan, sehingga transparansi dan akurasi pengukuran energi dapat terjamin.

Dalam praktiknya, perhitungan tagihan listrik pelanggan PLTS Atap dilakukan berdasarkan selisih antara energi impor dan energi ekspor yang telah dikonversi sesuai dengan ketentuan tarif yang berlaku. Apabila jumlah energi yang diimpor lebih besar dibandingkan energi yang diekspor, maka pelanggan tetap membayar selisih konsumsi tersebut. Sebaliknya, apabila energi ekspor lebih besar, maka kelebihan tersebut dapat diperhitungkan sebagai kredit energi sesuai regulasi yang berlaku.

Mekanisme net metering di Indonesia diatur dalam kebijakan pemerintah yang bertujuan mendorong pemanfaatan energi baru terbarukan, khususnya energi surya. Regulasi ini memberikan landasan hukum bagi pelanggan untuk memasang PLTS Atap serta memperoleh kepastian dalam proses ekspor-impor energi listrik. Dengan adanya kebijakan tersebut, diharapkan partisipasi masyarakat dalam pengembangan energi bersih dapat meningkat secara signifikan.

Selain memberikan manfaat ekonomi berupa pengurangan tagihan listrik, sistem net metering juga memiliki implikasi teknis terhadap sistem distribusi tenaga listrik. Integrasi PLTS

Atap dalam jumlah besar dapat memengaruhi profil tegangan, kualitas daya, serta stabilitas jaringan distribusi. Oleh karena itu, diperlukan pengaturan teknis dan pengawasan yang memadai agar sistem tetap beroperasi secara andal dan aman.

Secara keseluruhan, net metering merupakan instrumen penting dalam transisi energi menuju sistem ketenagalistrikan yang lebih berkelanjutan. Melalui mekanisme ini, pelanggan memperoleh insentif ekonomi untuk berinvestasi pada PLTS Atap, sementara sistem ketenagalistrikan nasional memperoleh tambahan pasokan energi terbarukan. Dengan pengelolaan yang tepat, net metering dapat menjadi solusi yang saling menguntungkan bagi pelanggan maupun penyedia tenaga listrik.

2.1.5 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kinerja PLTS Atap

Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap, yang diukur dari seberapa besar energi listrik yang dapat dihasilkan, dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berinteraksi. Memahami faktor-faktor ini sangat penting untuk mengoptimalkan desain, instalasi, dan operasi PLTS Atap, sehingga dapat menghasilkan listrik secara efisien dan memberikan manfaat penghematan energi yang maksimal bagi pengguna.

Salah satu faktor utama yang mempengaruhi kinerja PLTS Atap adalah intensitas radiasi matahari. Radiasi matahari merupakan sumber energi utama bagi panel surya untuk menghasilkan listrik. Semakin tinggi intensitas sinar matahari yang diterima oleh panel, maka semakin besar pula energi listrik yang dapat dihasilkan. Oleh karena itu, daerah dengan tingkat penyinaran matahari yang tinggi memiliki potensi produksi energi surya yang lebih besar dibandingkan daerah dengan tingkat radiasi matahari yang rendah.

Faktor berikutnya adalah sudut kemiringan dan orientasi panel surya. Posisi pemasangan panel sangat menentukan seberapa optimal panel dapat menangkap sinar matahari. Panel surya yang dipasang dengan sudut kemiringan dan arah yang tepat akan menerima radiasi matahari secara maksimal sepanjang hari. Umumnya panel surya dipasang menghadap ke arah yang mendapatkan paparan sinar matahari paling lama agar produksi energi listrik dapat lebih optimal.

memaksimalkan pengembalian investasi. Faktor-faktor tersebut dapat dikelompokkan menjadi faktor eksternal (lingkungan) dan faktor internal (teknis). Faktor eksternal yang paling utama adalah intensitas radiasi matahari (*irradiance*). Semakin tinggi intensitas radiasi matahari yang diterima oleh modul surya, semakin besar pula energi listrik yang dapat dihasilkan. Intensitas radiasi matahari bervariasi tergantung pada lokasi geografis, waktu (jam, hari, bulan, tahun), dan kondisi cuaca (cerah, berawan, hujan). Oleh karena itu, pemilihan lokasi pemasangan PLTS Atap yang memiliki intensitas radiasi matahari yang tinggi sangat penting untuk memaksimalkan produksi listrik.

Sudut kemiringan (*tilt angle*) dan orientasi (*azimuth angle*) modul surya juga memengaruhi kinerja PLTS Atap. Sudut kemiringan adalah sudut antara permukaan modul surya dengan bidang horizontal, sedangkan orientasi adalah arah hadap modul surya terhadap arah mata angin. Sudut kemiringan dan orientasi yang optimal akan memaksimalkan penyerapan radiasi matahari sepanjang tahun. Secara umum, sudut kemiringan yang ideal adalah sama dengan lintang lokasi pemasangan, dan orientasi yang ideal adalah menghadap ke arah selatan (untuk wilayah belahan bumi utara) atau utara (untuk wilayah belahan bumi selatan). Suhu lingkungan (*ambient temperature*) juga berpengaruh terhadap kinerja modul surya. Semakin tinggi suhu lingkungan, semakin menurun efisiensi modul surya dalam mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Hal ini disebabkan karena suhu yang tinggi dapat meningkatkan resistansi internal sel surya dan mengurangi tegangan output. Oleh karena itu, perlu diupayakan agar modul surya tetap dingin, misalnya dengan memberikan ventilasi yang baik atau menggunakan modul surya yang memiliki koefisien suhu yang rendah.

2.1.6 Pengaruh PLTS Atap terhadap Tagihan Listrik Pelanggan

Salah satu motivasi utama bagi pelanggan listrik untuk memasang Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap adalah potensi penghematan biaya listrik. PLTS Atap memungkinkan pelanggan untuk menghasilkan listrik sendiri dan mengurangi ketergantungan pada listrik dari jaringan PLN, sehingga secara langsung dapat menurunkan

tagihan listrik bulanan. Besarnya pengaruh PLTS Atap terhadap tagihan listrik pelanggan bervariasi, tergantung pada berbagai faktor yang akan dijelaskan lebih lanjut. Secara umum, pengaruh PLTS Atap terhadap tagihan listrik pelanggan dapat dihitung dengan membandingkan tagihan listrik sebelum dan sesudah pemasangan PLTS Atap. Selisih antara kedua tagihan tersebut merupakan penghematan biaya listrik yang diperoleh oleh pelanggan. Namun, perlu diingat bahwa penghematan biaya listrik ini perlu dibandingkan dengan biaya investasi yang dikeluarkan untuk memasang PLTS Atap, untuk mengetahui jangka waktu pengembalian modal (*payback period*).

Selain perbandingan tagihan sebelum dan sesudah pemasangan, analisis pengaruh PLTS Atap terhadap tagihan listrik juga perlu mempertimbangkan pola konsumsi energi pelanggan. Besarnya penghematan akan lebih optimal apabila profil beban listrik pelanggan terjadi pada siang hari, saat sistem PLTS menghasilkan daya maksimum. Sebaliknya, apabila sebagian besar konsumsi listrik terjadi pada malam hari, maka kontribusi PLTS terhadap pengurangan tagihan menjadi lebih kecil karena pelanggan tetap mengambil energi dari jaringan PLN. Oleh karena itu, kesesuaian antara profil produksi energi surya dan pola konsumsi energi menjadi faktor kunci dalam menentukan tingkat efisiensi ekonomi sistem PLTS Atap.

Selain faktor pola konsumsi, kapasitas terpasang sistem PLTS Atap juga berpengaruh signifikan terhadap besarnya penghematan. Kapasitas yang terlalu kecil mungkin tidak mampu memenuhi kebutuhan energi secara optimal, sedangkan kapasitas yang terlalu besar berpotensi menghasilkan energi berlebih yang tidak sepenuhnya dimanfaatkan. Dalam skema net-metering yang diterapkan oleh PT PLN (Persero), energi listrik yang diekspor ke jaringan akan diperhitungkan sebagai pengurang tagihan sesuai ketentuan yang berlaku. Oleh karena itu, perencanaan kapasitas sistem perlu dilakukan secara cermat berdasarkan rata-rata konsumsi energi bulanan pelanggan.

Faktor lain yang memengaruhi penghematan adalah tingkat radiasi matahari di lokasi pemasangan. Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi energi surya yang relatif tinggi sepanjang tahun, namun variasi cuaca, posisi geografis, dan orientasi panel surya tetap memengaruhi jumlah energi yang dihasilkan. Pemasangan panel dengan sudut kemiringan dan arah yang tepat dapat meningkatkan produksi energi secara signifikan, sehingga secara langsung

berdampak pada besarnya pengurangan tagihan listrik bulanan.

Selain aspek teknis, faktor ekonomi seperti tarif dasar listrik, biaya investasi awal, biaya pemeliharaan, serta potensi kenaikan tarif listrik di masa mendatang juga perlu diperhitungkan dalam analisis. Jika tarif listrik mengalami kenaikan, maka nilai penghematan dari PLTS Atap akan semakin besar, sehingga mempercepat periode pengembalian modal. Dengan demikian, analisis pengaruh PLTS Atap terhadap tagihan listrik pelanggan tidak hanya terbatas pada selisih biaya bulanan, tetapi juga mencakup evaluasi jangka panjang yang mempertimbangkan aspek teknis, finansial, dan kebijakan energi yang berlaku.

2.1.7 Pelanggan Pasca Bayar PLN

Pelanggan pasca bayar PLN merupakan kategori pelanggan Perusahaan Listrik Negara (PLN) yang melakukan pembayaran tagihan listrik setelah menggunakan energi listrik selama periode waktu tertentu (biasanya satu bulan). Sistem pembayaran pasca bayar ini berbeda dengan sistem Prabayar, di mana pelanggan harus membeli token listrik terlebih dahulu sebelum dapat menggunakan energi listrik. Pelanggan pasca bayar umumnya terdiri dari rumah tangga, bisnis kecil, dan industri yang memiliki kebutuhan listrik yang relatif stabil dan dapat diprediksi.

Pelanggan pasca bayar PLN adalah pelanggan yang terdaftar di PLN dan memiliki meteran listrik yang mencatat jumlah energi listrik yang digunakan setiap bulan. Tagihan listrik dihitung berdasarkan jumlah energi listrik yang tercatat pada meteran tersebut, dikalikan dengan tarif listrik yang berlaku. Pelanggan pasca bayar memiliki kewajiban untuk membayar tagihan listrik setiap bulan sesuai dengan tanggal jatuh tempo yang telah ditentukan. Karakteristik pelanggan pasca bayar PLN antara lain :

- a) Pelanggan menggunakan listrik terlebih dahulu, baru membayar tagihan di akhir periode.
- b) Menggunakan meteran listrik untuk mencatat jumlah energi listrik yang digunakan.
- c) Menerima tagihan listrik setiap bulan berdasarkan jumlah konsumsi listrik.
- d) Memiliki kewajiban membayar tagihan listrik sebelum tanggal jatuh tempo.

- e) Jika terlambat membayar tagihan, pelanggan dapat dikenakan denda keterlambatan.

Pola konsumsi listrik pelanggan pasca bayar PLN dapat bervariasi tergantung pada berbagai faktor, seperti jenis pelanggan (rumah tangga, bisnis, industri), jumlah anggota keluarga, jenis peralatan listrik yang digunakan, dan gaya hidup. Pola konsumsi listrik ini dapat dianalisis melalui profil beban harian dan bulanan.

1. Profil Beban Harian

Menunjukkan variasi konsumsi listrik sepanjang hari. Rumah tangga biasanya memiliki puncak konsumsi listrik pada pagi dan sore hari, ketika aktivitas rumah tangga meningkat (misalnya, memasak, mencuci, menonton TV). Bisnis dan industri biasanya memiliki puncak konsumsi listrik pada siang hari, ketika aktivitas operasional berlangsung.

2. Profil Beban Bulanan

Menunjukkan variasi konsumsi listrik sepanjang bulan. Konsumsi listrik biasanya lebih tinggi pada bulan-bulan yang panas, ketika penggunaan AC meningkat. Selain itu, konsumsi listrik juga dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor lain, seperti hari libur, musim, dan kondisi ekonomi.

Tarif listrik yang berlaku untuk pelanggan pasca bayar PLN ditetapkan oleh pemerintah dan dapat bervariasi tergantung pada golongan tarif pelanggan. Golongan tarif pelanggan dibedakan berdasarkan daya tersambung (VA) dan jenis penggunaan listrik (rumah tangga, bisnis, industri). Secara umum, terdapat dua jenis sistem tarif listrik yang berlaku untuk pelanggan pasca bayar PLN, yaitu sistem tarif progresif dan sistem tarif tetap.

- a) Tarif listrik meningkat seiring dengan peningkatan jumlah konsumsi listrik. Artinya, semakin banyak listrik yang digunakan, semakin mahal tarif per kWh yang harus dibayar. Sistem tarif progresif bertujuan untuk mendorong efisiensi penggunaan listrik dan mengurangi subsidi pemerintah.
- b) Tarif listrik tetap sama, berapapun jumlah konsumsi listrik. Sistem tarif tetap biasanya berlaku untuk pelanggan dengan daya tersambung yang relatif besar, seperti industri.

Penting bagi pelanggan pasca bayar PLN untuk memahami pola konsumsi listrik mereka dan tarif listrik yang berlaku, agar dapat mengelola penggunaan listrik secara efisien dan mengoptimalkan biaya listrik bulanan.

2.2. Komponen Utama PLTS

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) tersusun atas beberapa komponen utama yang saling terintegrasi untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan oleh beban maupun disalurkan ke jaringan PLN. Setiap komponen memiliki fungsi penting dalam menjaga kinerja, efisiensi, serta keamanan sistem. Adapun komponen utama pada sistem PLTS atap (on-grid) meliputi panel surya, inverter, rangka penopang, kabel dan proteksi, serta kWh meter ekspor–impor.

1. Panel Surya (Modul Fotovoltaik)

Panel surya merupakan komponen utama yang berfungsi mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik arus searah (DC) melalui efek fotovoltaik. Panel tersusun dari beberapa sel surya berbahan semikonduktor silikon. Besarnya daya listrik yang dihasilkan tergantung pada luas permukaan panel, intensitas radiasi matahari, dan efisiensi modul.

Spesifikasi utama panel surya meliputi daya puncak (Wp), tegangan kerja, arus, dan efisiensi konversi. Semakin besar kapasitas panel yang dipasang, semakin besar pula energi listrik yang dihasilkan.

2. Inverter

Inverter berfungsi mengubah arus searah (DC) dari panel surya menjadi arus bolak-balik (AC) sehingga dapat digunakan oleh peralatan listrik rumah tangga atau disalurkan ke jaringan PLN. Pada sistem PLTS atap digunakan inverter tipe on-grid (grid-tie inverter) yang mampu melakukan sinkronisasi tegangan dan frekuensi dengan jaringan listrik PLN.

Selain sebagai konverter energi, inverter juga dilengkapi fitur proteksi seperti pengaman hubung singkat, overvoltage, dan monitoring produksi energi.

3. Rangka Penopang (*Mounting System*)

Rangka penopang digunakan sebagaiudukan panel surya agar terpasang dengan kuat dan stabil pada atap bangunan. Rangka biasanya terbuat dari aluminium atau baja ringan yang tahan terhadap korosi dan cuaca ekstrem. Sudut kemiringan rangka disesuaikan dengan posisi matahari untuk memperoleh penyerapan radiasi yang optimal.

4. Kabel dan Sistem Proteksi

Kabel digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari panel ke inverter dan selanjutnya ke instalasi listrik bangunan. Untuk menjaga keamanan sistem, diperlukan perangkat proteksi seperti:

- a. MCB DC dan AC
- b. Sekring (*fuse*)
- c. Grounding
- d. *Surge protection* (penangkal petir)

Perangkat proteksi ini berfungsi mencegah kerusakan akibat arus lebih, korsleting, maupun gangguan petir.

5. kWh Meter Ekspor–Impor (EXIM)

kWh meter ekspor–impor merupakan alat ukur energi listrik dua arah yang dipasang oleh PLN pada pelanggan PLTS atap. Meter ini mencatat jumlah energi listrik yang diambil dari jaringan PLN (impor) serta energi yang dikirim kembali ke jaringan (ekspor). Data tersebut digunakan sebagai dasar perhitungan tagihan listrik pelanggan.

Secara keseluruhan, kelima komponen tersebut bekerja secara terintegrasi untuk menghasilkan sistem PLTS yang aman, efisien, dan mampu mengurangi konsumsi listrik dari jaringan PLN sehingga memberikan penghematan biaya listrik bagi pelanggan.

2.3. Spesifikasi Komponen Sistem PLTS

Sistem PLTS atap yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa komponen utama yang saling terintegrasi untuk mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik serta menyalurkannya ke beban instalasi pelanggan dan jaringan PLN. Setiap komponen memiliki fungsi

dan peran penting dalam menentukan kinerja, efisiensi, serta keandalan sistem secara keseluruhan. Oleh karena itu, pemilihan spesifikasi perangkat keras harus disesuaikan dengan kebutuhan daya listrik pelanggan dan kondisi lokasi pemasangan. Adapun rincian spesifikasi komponen yang digunakan dalam sistem PLTS atap.

Komponen Sistem

Panel Surya : Tipe *monocrystalline* dengan daya 550 Wp per modul, berjumlah 4 unit sehingga total kapasitas terpasang sebesar 2,2 kWp. Panel berfungsi mengubah energi matahari menjadi listrik DC.

Inverter On-Grid : Kapasitas 20 kW, tegangan output 220 V AC, frekuensi 50 Hz, efisiensi

±97%, dilengkapi fitur monitoring dan proteksi otomatis. Berfungsi mengubah arus DC menjadi AC serta sinkron dengan jaringan PLN.

Rangka Penopang (*Mounting System*) : Terbuat dari aluminium/baja ringan tahan karat, dipasang pada atap miring dengan sudut kemiringan 10–15° untuk menopang panel surya secara kokoh.

Kabel DC dan AC : Kabel DC berukuran 4–6 mm² dan kabel AC 2,5–4 mm² yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari panel ke inverter dan ke instalasi rumah.

Perangkat Proteksi : Terdiri dari MCB DC 32A, MCB AC 16A, grounding, serta surge protection yang berfungsi melindungi sistem dari arus lebih, korsleting, dan gangguan petir.

kWh Meter Ekspor–Impor (EXIM) : Meter digital dua arah yang dipasang oleh PLN untuk mencatat energi impor dan ekspor sebagai dasar perhitungan tagihan listrik pelanggan.

Berdasarkan spesifikasi komponen tersebut, sistem PLTS yang dipasang memiliki kapasitas total sekitar 2,2 kWp dengan estimasi produksi energi 8–10 kWh per hari atau sekitar 240–300 kWh per bulan. Energi yang dihasilkan digunakan untuk mengurangi konsumsi listrik dari PLN sehingga dapat menurunkan tagihan listrik pelanggan.

2.4. Rumus Perhitungan Energi PLTS

Perhitungan energi pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) diperlukan

untuk mengetahui besarnya kebutuhan daya pelanggan, kapasitas sistem yang harus dipasang, energi yang dihasilkan panel surya, serta potensi penghematan biaya listrik. Perhitungan ini menjadi dasar dalam menentukan ukuran sistem PLTS agar sesuai dengan besarnya kebutuhan daya pelanggan, kapasitas sistem yang harus dipasang, energi yang dihasilkan panel surya, serta potensi penghematan biaya listrik. Perhitungan ini menjadi dasar dalam menentukan ukuran sistem PLTS agar sesuai dengan kebutuhan energi listrik pelanggan serta dapat bekerja secara optimal dan efisien dalam jangka waktu yang panjang.

Dalam proses perencanaan sistem PLTS, langkah pertama yang dilakukan adalah menganalisis kebutuhan energi listrik pelanggan. Data kebutuhan energi biasanya diperoleh dari catatan pemakaian listrik pada tagihan listrik bulanan. Dari data tersebut dapat diketahui rata-rata konsumsi energi listrik pelanggan setiap bulan maupun setiap hari. Informasi ini sangat penting karena menjadi dasar dalam menentukan kapasitas sistem PLTS yang akan dipasang.

Selanjutnya dilakukan perkiraan potensi energi listrik yang dapat dihasilkan oleh panel surya. Besarnya energi yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh intensitas radiasi matahari yang diterima panel surya setiap harinya. Daerah yang memiliki tingkat penyinaran matahari yang tinggi akan menghasilkan energi listrik yang lebih besar dibandingkan daerah dengan tingkat radiasi matahari yang lebih rendah. Oleh karena itu, kondisi geografis dan iklim suatu wilayah menjadi faktor penting dalam perhitungan potensi energi PLTS.

Selain radiasi matahari, kapasitas dan jumlah panel surya yang dipasang juga mempengaruhi besarnya energi listrik yang dihasilkan. Semakin besar kapasitas sistem PLTS yang dipasang, maka semakin besar pula energi listrik yang dapat diproduksi. Dalam perencanaan sistem, kapasitas panel biasanya disesuaikan dengan kebutuhan energi listrik pelanggan serta luas area atap yang tersedia untuk pemasangan panel.

Perhitungan energi PLTS juga mempertimbangkan efisiensi komponen sistem, seperti inverter, kabel, serta komponen pendukung lainnya. Dalam sistem PLTS selalu terdapat beberapa kehilangan energi akibat proses konversi listrik, panas pada komponen, maupun kerugian pada kabel. Oleh karena itu, dalam perencanaan sistem perlu diperhitungkan faktor kerugian tersebut agar estimasi energi yang dihasilkan dapat lebih realistis.

konsumsi energi pelanggan dan memberikan hasil yang optimal. Adapun beberapa persamaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Perhitungan Energi Listrik Beban

Energi listrik yang digunakan oleh beban ditentukan berdasarkan daya peralatan dan lama waktu pemakaian. Secara matematis dirumuskan:

$$E = P \times t \quad \text{Keterangan:}$$

E = Energi listrik (kWh) P =

Daya listrik (kW)

t = Waktu pemakaian (jam)

2. Perhitungan Kapasitas Daya PLTS yang Dibutuhkan

Untuk menentukan kapasitas sistem PLTS yang sesuai, kebutuhan energi harian dibagi dengan lama penyinaran matahari efektif (peak sun hour).

Rumus Dasar Kapasitas Panel Surya

$$\text{Kapasitas PLTS (Wp)} = \frac{\text{Energi Harian (Wh)}}{\text{PSH} \times \text{Efisiensi Sistem}}$$

Keterangan:

Energi Harian (Wh) = Total kebutuhan listrik per hari PSH

(jam) = Rata-rata jam matahari efektif per hari

Efisiensi sistem = 0,7 – 0,85 (umumnya digunakan 0,75 atau 75%)

3 Perhitungan Jumlah Panel Surya

Jumlah panel yang dibutuhkan dapat dihitung dengan membagi kapasitas sistem dengan daya tiap panel.

Rumus Dasar

$$\text{Jumlah Panel} = \frac{P_{\text{total dibutuhkan}}}{P_{\text{panel}}}$$

Dimana:

P_{total} = Total kapasitas PLTS yang direncanakan (Wp)

P_{panel} = Daya satu panel (Wp)

Perhitungan ini membantu menentukan banyaknya modul surya yang akan dipasang di atap.

4. Perhitungan Energi Produksi PLTS

Energi listrik yang dihasilkan sistem PLTS dipengaruhi oleh kapasitas panel, lama penyinaran, dan efisiensi sistem.

Rumus Produksi Energi Harian

$$E_{\text{harian}} = P_{\text{terpasang}} \times PSH \times PR$$

Keterangan:

E_{harian} = Energi harian (kWh)

$P_{\text{terpasang}}$ = Kapasitas PLTS (kWp)

PSH = *Peak Sun Hour* (jam/hari)

PR = *Performance Ratio* (0,70 – 0,85)

Produksi Energi Bulanan

$$E_{\text{bulanan}} = P_{\text{terpasang}} \times PSH \times PR \times \text{Hari}$$

Efisiensi sistem memperhitungkan rugi-rugi akibat suhu, kabel, inverter, dan kotoran panel.

5. Perhitungan Energi Impor dari PLN

Setelah pemasangan PLTS, energi yang masih dibeli dari PLN dihitung sebagai Rumus Dasar Energi Impor

$$E_{\text{impor}} = E_{\text{beban}} - E_{\text{PLTS}}$$

Keterangan:

E_{impor} = Energi impor dari PLN (kWh)

E_{beban} = Total konsumsi energi beban (kWh)

E_{PLTS} = Energi yang dihasilkan PLTS dan digunakan langsung (kWh)

6. Perhitungan Biaya Tagihan Listrik

Biaya listrik pelanggan dihitung berdasarkan energi impor dan tarif listrik. Secara umum:

Biaya Listrik = Energi (kWh) x Tarif (Rp/kWh) Dimana:

Energi = total pemakaian listrik dalam kWh

Tarif = tarif tenaga listrik sesuai golongan pelanggan

Perhitungan biaya listrik pada pelanggan dilakukan dengan mengalikan jumlah energi listrik yang digunakan selama periode tertentu dengan tarif listrik yang berlaku sesuai dengan golongan pelanggan. Energi listrik yang dimaksud merupakan total pemakaian listrik yang tercatat pada kWh meter dalam satu bulan. Semakin besar energi listrik yang digunakan oleh pelanggan, maka biaya tagihan listrik yang harus dibayarkan juga akan semakin besar.

Tarif listrik sendiri ditentukan berdasarkan golongan pelanggan yang telah ditetapkan oleh penyedia tenaga listrik. Setiap golongan pelanggan, seperti rumah tangga, bisnis, maupun industri, memiliki besaran tarif yang berbeda-beda. Penentuan tarif ini mempertimbangkan berbagai faktor seperti daya terpasang, jenis penggunaan listrik, serta kebijakan tarif yang ditetapkan oleh pemerintah.

Dalam sistem PLTS atap yang terhubung dengan jaringan listrik, perhitungan tagihan listrik juga dapat dipengaruhi oleh jumlah energi yang diekspor maupun diimpor dari jaringan listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS dapat digunakan langsung oleh pelanggan untuk memenuhi kebutuhan listrik, sehingga dapat mengurangi jumlah energi yang diambil dari jaringan PLN. Dengan demikian, pemakaian energi impor menjadi lebih kecil dan biaya tagihan listrik yang harus dibayarkan oleh pelanggan dapat berkurang.

7. Perhitungan Penghematan Energi

Penghematan energi akibat pemasangan PLTS dihitung dengan:

Secara umum:

$$\text{Penghematan Energi} = E_{\text{sebelum}} - E_{\text{sesudah}}$$

Dimana:

E_{sebelum} = Konsumsi energi sebelum PLTS (kWh)

E_{sesudah} = Energi impor dari PLN setelah PLTS (kWh)

8. Perhitungan Persentase Penghematan Biaya

Untuk mengetahui efektivitas PLTS terhadap penurunan tagihan listrik, digunakan persamaan:

Rumus Persentase Penghematan

$$\text{Persentase Penghematan} = \frac{\text{Biaya Sebelum} - \text{Biaya Sesudah}}{\text{Biaya Sebelum}} \times 100\%$$

Semakin besar persentase yang diperoleh, semakin besar pengaruh pemasangan PLTS terhadap pengurangan biaya listrik pelanggan.

9. Perhitungan Produksi Energi Bulanan

Rumus Dasar Produksi Energi

Energi listrik yang dihasilkan panel surya dihitung dengan:

$$E = P \times t$$

Namun pada sistem PLTS, digunakan rumus yang lebih spesifik:

$$E_{\text{bulanan}} = P_{\text{terpasang}} \times PSH \times PR \times \text{Jumlah Hari}$$

Keterangan Variabel

E_{bulanan} = Produksi energi per bulan (kWh)

$P_{\text{terpasang}}$ = Kapasitas PLTS (kWp)

PSH (Peak Sun Hour) = Rata-rata jam matahari efektif per hari PR

(Performance Ratio) = Faktor kinerja sistem (0,70 – 0,85) Jumlah

Hari = 30 atau sesuai bulan

Rumus ini digunakan untuk memperkirakan total produksi energi PLTS selama satu bulan yang kemudian dibandingkan dengan data tagihan listrik pelanggan.

10, Perhitungan Perbandingan Selisih Biaya Sebelum dan Sesudah Pemasangan PLTS Atap

Sebelum PLTS (19 Bulan) : Rata-Rata Rp. 9.080.000,-

Sesudah PLTS (6 Bulan) : Rata-Rata Rp. 8.660.000,-

Penurunan Rata-Rata Tagihan = Sebelum PLTS – Sesudah PLTS

Penurunan Rata-Rata Tagihan = Rp.9.080.000-Rp.8.660.000 = Rp.420.000,-

2.5. Penelitian yang Relevan

Pada penelitian ini, penulis melakukan tinjauan literatur terhadap beberapa penelitian terdahulu yang relevan sebagai referensi. Referensi diperoleh dari jurnal, artikel, skripsi, maupun buku yang memiliki keterkaitan dengan topik energi terbarukan, PLTS Atap, dan efisiensi penggunaan listrik. Beberapa penelitian yang relevan adalah sebagai berikut:

1. Menurut Rachmad Hidayat (2021)

Dalam jurnal berjudul “*Analisis Pengaruh Pemasangan PLTS Atap Terhadap Tagihan Listrik Rumah Tangga di Kota Surabaya*”, dijelaskan bahwa pemasangan PLTS Atap dapat menurunkan konsumsi energi listrik pelanggan PLN secara signifikan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pelanggan rumah tangga dengan kapasitas PLTS 2 kWp mampu

menghemat hingga 35% dari total tagihan listrik bulanan. Efektivitas penghematan dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari dan pola konsumsi listrik harian pelanggan. Penelitian ini membuktikan bahwa PLTS Atap memiliki potensi besar dalam mendukung efisiensi energi di sektor rumah tangga.

2. Menurut Siti Rahmah (2022)

Dalam jurnal “*Evaluasi Kinerja Sistem PLTS Atap pada Gedung Perkantoran di Jakarta*”, penelitian ini menilai performa dan kontribusi PLTS Atap terhadap pengurangan tagihan listrik kantor. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem PLTS berkapasitas 30 kWp mampu menghasilkan energi rata-rata 110 kWh per hari dan menurunkan tagihan listrik hingga 28%. Faktor cuaca, arah kemiringan panel, serta kebersihan permukaan panel berpengaruh terhadap hasil energi yang diperoleh. Studi ini memperkuat bahwa optimalisasi desain dan perawatan PLTS Atap dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi surya.

3. Menurut I Wayan Sugiarta (2023)

Dalam penelitian berjudul “*Analisis Dampak Implementasi PLTS Atap terhadap Beban Listrik dan Tagihan Pelanggan di Bali*”, dijelaskan bahwa penggunaan PLTS Atap tidak hanya menurunkan tagihan listrik pelanggan, tetapi juga membantu PLN dalam menurunkan beban puncak jaringan. Dari hasil penelitian, penggunaan PLTS dengan kapasitas 5 kWp pada rumah tangga dapat mengurangi beban puncak hingga 18% dan menurunkan tagihan listrik rata-rata sebesar 40%. Penelitian ini menegaskan manfaat PLTS Atap baik bagi pelanggan maupun penyedia listrik.

4. Menurut Yuliana Fitri dan Dimas Ardiansyah (2023)

Dalam jurnal “*Analisis Penghematan Energi dan Biaya pada Penerapan PLTS Atap di Lingkungan Pendidikan*”, dijelaskan bahwa penerapan PLTS Atap di sekolah-sekolah negeri menghasilkan penghematan energi sebesar 25–45% setiap bulan. Penelitian ini juga menyoroti aspek ekonomi dengan analisis *payback period*, yang menunjukkan bahwa investasi PLTS Atap dapat balik modal dalam waktu 6–8 tahun. Hal ini menunjukkan bahwa

PLTS Atap merupakan solusi efisien dan berkelanjutan untuk sektor pendidikan dan instansi publik.

5. Menurut Bambang Supriyadi (2024)

Dalam penelitian “*Studi Kelayakan dan Dampak Ekonomi Penerapan PLTS Atap bagi Pelanggan Pasca Bayar PLN di Nusa Tenggara Timur*”, ditemukan bahwa penerapan PLTS Atap memberikan dampak positif dalam menekan biaya listrik pelanggan. Dengan kapasitas sistem 3 kWp, pelanggan mampu menghemat hingga Rp400.000 per bulan. Selain itu, hasil analisis ekonomi menunjukkan rasio manfaat-biaya (BCR) sebesar 1,5, yang berarti investasi PLTS Atap layak diterapkan. Penelitian ini sangat relevan karena mengambil lokasi di wilayah Nusa Tenggara Timur, yang memiliki potensi energi surya tinggi seperti lokasi penelitian penulis.

6. *Analysis Of Rooftop Photovoltaic (PV) System Effectiveness for Building Electricity Bill Reduction*

Penelitian ini menganalisis efektivitas sistem PLTS atap untuk mengurangi tagihan listrik pada 25 rumah tangga dengan kapasitas 3 kWp dan membahas aspek ekonomi serta teknis implementasi PLTS atap.

7. *Techno-Economic of Rooftop Solar Power Plants for Residential Customers in Indonesia*

Studi ini mengevaluasi aspek teknis dan ekonomi dari sistem PLTS atap on-grid di beberapa tipe rumah tinggal di Indonesia, termasuk NPV, LCOE, dan periode pengembalian investasi.

8. Studi Kelayakan Teknis dan Ekonomi PLTS Rooftop di Hotel Rayz Universitas Muhammadiyah Malang

Penelitian yang mengevaluasi kelayakan teknis dan ekonomi instalasi PLTS atap on-grid di sebuah hotel dengan area atap yang luas dan kapasitas sistem maksimal 37,4 kWp.

9. *PLANNING OF ROOFTOP SOLAR POWER PLANTS for Integrated Classroom and Laboratory Buildings*

Riset ini merancang sistem PLTS atap untuk gedung kampus menggunakan analisis potensi radiasi dan simulasi untuk optimasi kapasitas serta produksi energi.

10. Studi Kelayakan Pemasangan PLTS Atap On-Grid Kapasitas 65,3 kWp di SMK Taruna Bangsa Bekasi

Analisis ini menilai kelayakan teknis dan ekonomi PLTS atap pada sebuah sekolah dengan konsumsi listrik tinggi dan desain sistem on-grid.

11. Pemanfaatan Panel Surya Atap Rumah Tangga dalam Mengurangi Ketergantungan Energi Listrik Konvensional

Penelitian di Surabaya yang mengevaluasi kontribusi PLTS atap terhadap pengurangan ketergantungan energi listrik konvensional pada tingkat rumah tangga dan skenario implementasinya.

12. Perencanaan PLTS Atap dengan Sistem Hybrid di PT. Hammer Konstruksi Indonesia

Kajian perencanaan PLTS atap hybrid (gabungan on-grid dan off-grid) untuk bangunan industri dengan fokus pada faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja sistem.

13. *Rooftop PV System Optimization in an Educational Building using SAM*

Kasus studi optimasi PLTS atap di gedung fakultas teknik, menggunakan perangkat lunak SAM untuk menghitung produksi energi dan performa sistem.

14. *Analysis and Design of a Rooftop PV System in Bulaksumur, Yogyakarta Using Archelios Pro*

Riset yang menerapkan simulasi perangkat lunak untuk desain PLTS atap, termasuk analisis output energi tahunan, self-consumption, dan efisiensi sistem.

15. *Effectiveness Analysis of Rooftop Solar Panels in Reducing Household Electricity Consumption*

Penelitian ini menganalisis secara empiris dampak penggunaan panel surya atap terhadap konsumsi listrik rumah tangga berdasarkan studi nasional dan internasional.

2.6. Kerangka Pemikiran



Gambar 2.3. Kerangka Pemikiran

Sesuai dengan kerangka pemikiran penulis, sebelum dilakukan analisis pengaruh penerapan PLTS Atap terhadap tagihan listrik pelanggan pasca bayar PLN, diperlukan tahap persiapan yang mencakup pengumpulan referensi dan studi literatur untuk memahami konsep dasar energi surya, sistem PLTS Atap, serta mekanisme tagihan listrik pasca bayar. Setelah pemahaman teori diperoleh, penulis melanjutkan ke tahap pengumpulan data melalui observasi lapangan, pengambilan data tagihan listrik pelanggan sebelum dan sesudah

pemasangan PLTS Atap, serta wawancara dengan pelanggan dan pihak PLN terkait penerapannya. Data yang terkumpul kemudian diolah dan dianalisis menggunakan metode uji T dan analisis regresi guna mengetahui sejauh mana penerapan PLTS Atap berpengaruh terhadap penurunan tagihan listrik. Tahap akhir berupa interpretasi hasil analisis dan penarikan kesimpulan, sehingga penulis dapat memahami besarnya pengaruh PLTS Atap terhadap efisiensi penggunaan energi listrik serta memberikan rekomendasi bagi pelanggan, PLN, dan pemerintah dalam pengembangan energi terbarukan di masa mendatang.

2.7. Rekomendasi Sudut PLTS Atap & Penjelasan Bahan Monocrystalling

Rekomendasi Sudut Kemiringan Panel Surya (*Tilt Angle*)

A. Sudut Kemiringan Tetap (*Fixed Tilt*)

Untuk wilayah dekat latitud 9° S seperti Atambua:

Sudut kemiringan tetap tahunan yang direkomendasikan:
Sekitar $8^{\circ} - 12^{\circ}$

Penjelasan:

Untuk daerah tropis dekat ekuator, sudut optimal umumnya berada sekitar nilai latitud minus sedikit ($\pm$ latitude) atau hanya sedikit lebih tinggi karena sinar matahari hampir berada di atas kepala sepanjang tahun.

Studi di Indonesia menunjukkan untuk daerah tropis rata-rata sudut optimal panel berkisar $6^{\circ} - 11^{\circ}$ untuk instalasi tetap agar energi tahunan maksimal.

Praktisnya untuk atap rumah di Atambua:

10° (menghadap utara) adalah pilihan yang sangat baik jika sistem dibuat tetap (*fixed*).

Sudut ini sederhana, efektif, dan meminimalkan kerugian energi karena kemiringan tidak jauh dari nilai optimal.

B. Sudut berdasarkan Waktu/Tahun (Opsional)

Kalau Anda bisa mengatur sudut panel secara musiman:

Musim	Rekomendasi Sudut
Musim panas / kemarau	$\sim 5^{\circ} - 8^{\circ}$
Musim hujan / musim dingin Matahari lebih rendah	$\sim 12^{\circ} - 15^{\circ}$

Ini karena pada musim berbeda posisi Matahari berubah, sehingga kemiringan bisa disesuaikan untuk menangkap energi maksimal.

3. Arah Orientasi Panel

Untuk wilayah selatan ekuator seperti Atambua:

Panel harus menghadap ke utara

Ini agar sudut kemiringan panel langsung menghadap posisi Matahari sepanjang hari, sehingga produksi energi lebih optimal.

4. Tips Praktis Pemasangan

✓ Jika atap telah miring (genteng / baja ringan):

Sudut atap sekitar $10^{\circ} - 15^{\circ}$ sudah cukup baik untuk musim tropis.

Jika lebih curam (lebih 15°), tetap mengikuti sudut atap juga tidak akan terlalu mengurangi energi karena pergeseran produksi tidak signifikan pada daerah tropis.

✓ Jika atap datar:

Gunakan mounting frame untuk membuat sudut $10^{\circ} - 12^{\circ}$.

Kesimpulan Rekomendasi

Untuk Kabupaten Belu – Atambua (lat $\sim 9^{\circ}$ S):

Sudut tetap tahunan optimal: $\approx 8^{\circ} - 12^{\circ}$ Arah

panel: Menghadap utara Rekomendasi praktis

tetap: 10°

Ini memberikan keseimbangan antara produksi energi tahunan maksimal dan kemudahan pemasangan tanpa penyesuaian musiman.

Bahan PLTS Atap Monocrystalline (Monokristalin)

Panel monocrystalline adalah jenis modul surya dengan efisiensi tinggi dan tampilan warna hitam pekat.

A. Struktur Lapisan Panel

Berikut susunan material dari atas ke bawah:

Tempered Glass (Kaca Tempered)

Tebal $\pm 3\text{--}4$ mm

Transparansi tinggi ($>90\%$)

Tahan benturan dan cuaca ekstrem

Melindungi sel surya dari hujan, debu, dan benturan

EVA (*Ethylene Vinyl Acetate*)

Lapisan enkapsulasi

Merekatkan kaca dengan sel surya Melindungi sel

dari kelembaban dan getaran

Sel Surya Monocrystalline Silicon

Terbuat dari silikon kristal tunggal (*single crystal silicon*) Diproduksi

dari ingot silikon berbentuk silinder

Warna hitam pekat Efisiensi

tinggi: $19\%\text{--}23\%$ Umur pakai:

$25\text{--}30$ tahun Karakteristik

Utama:

Struktur kristal seragam Elektron

bergerak lebih efisien

Performa lebih baik pada suhu tinggi dibanding polycrystalline

EVA (Lapisan Kedua)

Melindungi bagian bawah sel surya

Backsheet

Material polimer tahan UV Berfungsi

sebagai isolator listrik

Melindungi dari kelembaban

Frame Aluminium

Aluminium anodized

Tahan korosi

Memudahkan pemasangan pada mounting

Junction Box

Tempat koneksi kabel DC

Berisi diode bypass (mengurangi efek shading) IP65/IP67
(tahan air dan debu)