

**ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS PERENCANAAN PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) MENGGUNAKAN PANEL SURYA
MONOKRISTALIN DAN POLIKRISTALIN PADA GEDUNG CSA
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN GOWA**



Tugas Akhir

**Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan
Program Strata Satu Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin
Makassar**

Disusun oleh:

Andi Tenri Sumpala

D411 16 024

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2020**

HALAMAN JUDUL

**ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
SURYA (PLTS) MENGGUNAKAN PANEL SURYA MONOKRISTALIN DAN
POLIKRISTALIN PADA GEDUNG CSA FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

OLEH:

ANDI TENRI SUMPALA

D411 16 024

*Disusun dalam rangka memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan
program Strata Satu Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik*

Universitas Hasanuddin

Makassar

**DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

GOWA

2020

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

ANALISIS TEKNIS DAN EKONOMIS PERENCANAAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA MENGGUNAKAN PANEL SURYA MONOKRISTALIN DAN POLIKRISTALIN PADA GEDUNG CSA FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS HASANUDDIN GOWA

Disusun Oleh:

ANDI TENRI SUMPALA

D41116024

Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Pernyataan untuk Menyelesaikan
Program Strata-1 pada Sub-Program Teknik Energi
Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Disahkan Oleh:

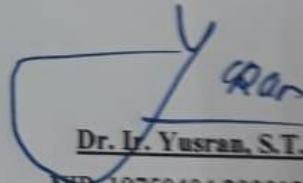
Pembimbing I



Ir. H. Gassing, M.T.

NIP. 19600720 198702 1 001

Pembimbing II



Dr. Ir. Yusran, S.T., M.T.

NIP. 19750404 200012 1 001

Mengetahui,

Ketua Departemen Teknik Elektro



Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T.

NIP. 19691026 199412 2 001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan dibawah ini, nama Andi Tenri Sumpala, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul “Analisis Teknis dan Ekonomis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Menggunakan Panel Surya Monokristalin dan Polikristalin Pada Gedung CSA Kampus Teknik Universitas Hasanuddin Gowa”, adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain yang telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggung jawabkan segala resiko

Gowa, 25 November 2020

Yang membuat pernyataan,



Andi Tenri Sumpala
NIM : D411 16 024

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT karena atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Analisis Teknis dan Ekonomis Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Menggunakan Panel Surya Monokristalin dan Polikristalin pada Gedung CSA Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa”.

Tugas akhir ini dibuat sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi dalam menyelesaikan studi strata satu pada Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penulis menyadari dalam penyelesaian tugas akhir ini tidak luput dari hambatan dan rintangan. Namun berkat bantuan dan bimbingan secara moril maupun materi dari berbagai pihak secara langsung maupun tidak langsung sehingga pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Oleh karena itu, dengan segala hormat perkenankanlah penulis menyampaikan terima kasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Ir. H. Gassing, M.T., dan Bapak Dr. Ir. Yusran, S.T, M.T., selaku pembimbing I dan II yang telah banyak memberikan bimbingan, motivasi, dan saran selama menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Bapak Yusri Syam Akil, S.T., M.T., Ph.D., dan Ibu Dr. Hasniaty, S.T., M.T. selaku penguji yang telah banyak memberikan kritikan dan saran guna perbaikan tugas akhir ini.
3. Pada dosen dan staf Teknik Elektro Universitas Hasanuddin
4. Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T. selaku Ketua Departemen Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

5. Rektor Universitas Hasanuddin dan Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Kedua orang tua penulis, A. Syarifuddin S, A. Syahri Syam, saudara, nenek, dan seluruh keluarga atas dukungan, doa, bantuan, dan motivasinya.
7. Pada semua guru saya dari TK, SD, SMP, dan SMA.
8. Yossi, Maryam, Afraz, dan Ima selaku cewek kosong yang telah memberikan semangat, motivasi dan dorongan kepada penulis.
9. Syahrul College selaku kumpulan cowok kosong yang selalu ada untuk memberikan bantuan dan tempat melampiaskan stress dalam penyelesaian tugas akhir ini.
10. Kepada Kak Nassri 16, Kak Clara 15, dan Kak Willy 14 yang telah meluangkan waktunya untuk membantu penulisan dalam penyelesaian tugas akhir ini
11. Seluruh teman-teman EXCITER 2016 dan COSINUS SMAN 5 Bone yang telah memberikan bantuan, semangat, dan motivasi.
12. Semua pihak yang tidak sempat penulis sebutkan satu persatu. Terima kasih atas segala bantuan sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan.
13. Yang paling terakhir, Saudara Bripda Jusriadi yang telah memberikan semangat dan motivasi untuk segera menyelesaikan tugas akhir ini.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL.....	x
ABSTRAK.....	xi
ABSTRACT.....	xi
BAB IPENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	2
I.3 Tujuan Penelitian.....	3
I.4 Batasan Masalah.....	3
I.5 Manfaat Penelitian.....	4
I.6 Metode Penelitian.....	4
I.7 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
II.1 Bentuk-Bentuk Energi	6
II.2 Energi Terbarukan.....	9
II.3 PLTS.....	10
II.3.1 Kapasitas Komponen Panel Surya	13
II.3.2 Kurva Karakteristik Sel Surya	16
II.4 Analisis Ekonomi	17
II.4.1 <i>Life Cycle Cost</i>	17
II.4.2 <i>Cost of Energy</i>	18
II.4.3 <i>Payback Periode</i>	18
II.4.4 <i>Net Present Value</i>	19
II.4.5 <i>Benefit Cost Ratio</i>	20
II.4.6 <i>Internal Rate of Return (IRR)</i>	21

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	22
III.1 Judul Penelitian	22
III.2 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	22
III.3 Pengambilan Data	22
III.4 Alat dan Instrumen Penelitian	23
III.5 Alur Penelitian.....	24
III.6 Wilayah Studi	27
III.7 Survei Pengumpulan Data	29
III.7.1 Data Pemasangan Sistem PLTS	29
III.7.2 Data Beban Listrik Gedung CSA FT-UH.....	29
III.7.3 Data Penyinaran Matahari	30
III.7.4 Data Spesifikasi Komponen PLTS	31
III.8 Desain Perancangan PLTS	33
III.9 Perbandingan Nilai Ekonomis.....	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
IV.1 Desain Pemasangan Sistem PLTS.....	37
IV.1.1 Desain Rancangan 1 (Panel Monokristalin).....	38
IV.1.2 Desain Rancangan 2 (Panel Polikristalin).....	41
IV.2 Analisis Teknik	43
IV.2.1 Panel Monokristalin	43
IV.2.2 Panel Polikristalin.....	49
IV.3 Analisis Ekonomi	56
IV.3.1 Investasi Awal	56
IV.3 Metode Perhitungan Ekonomi Teknik.....	58
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	71
V.1 Kesimpulan.....	71
V.2 Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA	72
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Efek Fotovoltaik.....	11
Gambar 2. 2 Kurva Karakteristik Arus-Tegangan dan Daya-Tegangan Sel Surya	16
Gambar 3. 1 Flowchart	24
Gambar 3. 2 Flow Chart.....	25
Gambar 3. 3 Flow Chart.....	26
Gambar 3. 4 Letak Gedung CSA Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin	27
Gambar 4. 1 Foto Permukaan Atap Gedung CSA FT-UH Gowa.....	37
Gambar 4. 2 Desain Rancangan 1 Panel Monokristalin 300 Wp	38
Gambar 4. 3 Model Rangka 3D (Panel Monokristalin).....	39
Gambar 4. 4 Model Rangka 2D (Panel Monokristalin).....	40
Gambar 4. 5 Desain Rancangan 2 Panel Polikristalin 300 Wp.....	41
Gambar 4. 6 Model Rangka 3D (Panel Polikristalin).....	42
Gambar 4. 7 Model Rangka 2D (Panel Polikristalin).....	43

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Bentuk-Bentuk Energi	8
Tabel 2. 2 Konversi Energi	9
Tabel 3. 1 Data Luas Permukaan Atap Gedung CSA FT-UH (dalam m ²)	29
Tabel 3. 2 Data Beban Listrik Gedung CSA FT-UH Gowa	30
Tabel 3. 3 Data Radiasi Sinar Matahari Gedung CSA FT-UH.....	30
Tabel 3. 4 Spesifikasi Panel Surya.....	31
Tabel 3. 5 Spesifikasi Inverter	32
Tabel 3. 6 Spesifikasi Charge Controller	32
Tabel 3. 7 Spesifikasi Baterai	33
Tabel 4. 1 Daftar Harga Komponen PLTS (Panel Monokristalin)	56
Tabel 4. 2 Daftar Harga Komponen PLTS (Panel Polikristalin)	57
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan IRR	64
Tabel 4. 4 Penilaian Investasi	65
Tabel 4. 5 Hasil Perhitungan IRR	66
Tabel 4. 6 Penilaian Investasi	67
Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan NPV.....	68
Tabel 4. 8 Perhitungan IRR	69
Tabel 4. 9 Penilaian Investasi	70

ABSTRAK

Indonesia berada pada garis katulistiwa sehingga mendapatkan sinar matahari yang melimpah. Tetapi pemanfaatan dari segi sumber daya energi listrik atau teknologi sel surya masih belum berkembang dengan baik. Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa memiliki konstruksi Gedung yang permukaan atapnya datar dan kosong, sehingga berpotensi sebagai tempat pemasangan PLTS. Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin juga memiliki potensi energi sinar matahari yang cukup besar. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan analisis teknis dan ekonomis perencanaan pembangkit listrik tenaga surya menggunakan panel surya monokristalin dan polikristalin pada Gedung CSA Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Analisis teknis dilakukan dengan menghitung daya yang dibangkitkan PLTS serta jumlah dari suatu komponen listrik yang dibutuhkan, kemudian mendesain rancangan menggunakan perangkat lunak *Autocad*. Analisis ekonomi menggunakan metode perhitungan *Life Cycle Cost*, *Cost Of Energy*, *Payback Periode*, *Net Present Value*, *Benefit Cost Ratio*, dan *Internal Rate of Return*. Berdasarkan hasil penelitian ini, besar daya yang dibangkitkan oleh PLTS baik menggunakan panel monokristalin maupun polikristalin yaitu 96.645 kWh/tahun. Jumlah panel yang dibutuhkan sebanyak 290, *charge controller* 9 buah, *inverter* 18 buah, dan baterai 108 buah. Secara analisis ekonomis rancangan PLTS tidak layak untuk dilakukan dikarenakan jika dibandingkan dengan biaya listrik yang dibeli dari sumber konvensional, biaya investasi PLTS masih cukup tinggi (berdasarkan kriteria kelayakan yaitu *Net Present Value* dan *Internal Rate Return* yang bernilai negatif dan hanya *Benefit Cost Ratio* yang nilainya lebih besar dari 0).

Kata Kunci: Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Panel Surya, Monokristalin, Polikristalin

ABSTRACT

The use of solar cell technology as a source of electrical energy in Indonesia is still underdeveloped, even though Indonesia is located on the equator so that it gets

abundant sunlight. The Engineering Faculty of Hasanuddin University Gowa has a building construction with a flat and empty roof surface, so it has the potential to be a place for installing PLTS. Engineering Faculty of Hasanuddin University also has a large potential for solar energy. This study aims to determine the technical and economic analysis of solar power plant planning using monocrystalline and polycrystalline solar panels at the CSA Building, Faculty of Engineering, Hasanuddin University. Technical analysis is done by calculating the power generated by the PLTS and the number of electrical components needed, then designing the design using the Autocad software. Economic analysis uses the method of calculating Life Cycle Cost, Cost of Energy, Payback Period, Net Present Value, Benefit Cost Ratio, and Internal Rate of Return. Based on the results of this study, the amount of power generated by PLTS using either monocrystalline or polycrystalline panels is 96,645 kWh / year. The number of panels needed is 290, 9 charge controllers, 18 inverters, and 108 batteries. From an economic analysis, the PLTS design is not feasible due to the high investment costs of PLTS compared to the cost of electricity purchased from conventional sources (based on the eligibility criteria, namely Net Present Value and Internal Rate Return, which are negative and only the Benefit Cost Ratio is greater than 0.).

Keywords: PLTS, Monocrystalline, Polycrystalline, Solar cell

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Sel surya membantu mengurangi efek dari penggunaan bahan bakar fosil dan sebagian dari pembangkit energi terbarukan bergantung pada energi matahari sebagai sumber utamanya. Sedangkan, insolasi energi matahari di Indonesia berkisar 4.5-4.8 kWh/hari. Dengan angka sebesar itu menjadikan PLTS salah satu pilihan terbaik untuk dikembangkan. Hal ini sejalan dengan program pemerintah yang menargetkan pembangunan PLTS sebesar 6.500 MW hingga akhir tahun 2019 [1].

Permintaan energi listrik di daerah perkotaan sangat besar dan terus meningkat. Sumber energi lokal, bersih, dan melimpah (energi matahari) menjadi suatu tolak ukur dalam pemilihan pembangkit listrik yang digunakan demi keberlanjutan energi. Daerah perkotaan banyak dijumpai gedung – gedung tinggi yang berpotensi memanfaatkan energi matahari sebagai penghasil energi. Kampus yang memiliki beberapa gedung dapat memanfaatkan panel surya sebagai penghasil energi. Selain untuk memenuhi kebutuhan listriknya, dapat pula mendatangkan penghasilan ketika kelebihan energinya dijual dan dapat menjadi objek edukasi bagi mahasiswa [1].

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa yang mulai beroperasi tahun ajaran 2012/2013 memiliki luas wilayah 3500 ha, yang terdiri dari 9 gedung terpakai dan beberapa gedung yang masih dalam tahap pembangunan. Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa memiliki konstruksi gedung yang

keseluruhan atau sebagian besar berbentuk datar pada permukaan atapnya. Permukaan atap yang datar dan kosong ini memberikan potensi yang besar dan mudah untuk dilakukan pemasangan PLTS. Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin juga memiliki potensi energi sinar matahari yang cukup besar [2].

Besar rata-rata pemakaian beban bulanan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada meteran listrik daya 1,11 MVA mencapai 224181 kWh. Besarnya pemakaian beban listrik tersebut dapat dikurangi dengan pemasangan sistem PLTS. Pada penelitian ini, akan dibuat desain perancangan sistem PLTS menggunakan dua tipe panel surya yaitu polikristalin dan monokristalin untuk mengetahui jenis panel surya mana yang paling optimal dari segi daya keluaran dan analisis ekonominya.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, dapat dirumuskan masalah:

1. Bagaimana menganalisis secara teknis perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Panel Monokristalin dan Polikristalin) pada Gedung CSA Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin?
2. Bagaimana menganalisis secara ekonomis perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Panel Monokristalin dan Polikristalin) pada Gedung CSA Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan hasil analisis secara teknis perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Panel Monokristalin dan Polikristalin) pada Gedung CSA Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. Mendapatkan hasil analisis secara ekonomis perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Panel Monokristalin dan Polikristalin) di Gedung CSA Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.

I.4 Batasan Masalah

1. Lokasi pemasangan Pembangkit Listrik Tenaga surya di atap Gedung CSA Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.
2. Menggunakan dua tipe panel surya yaitu polikristalin dan monokristalin.
3. Penggunaan software Autocad untuk menggambar panel surya yang akan terpasang pada atap Gedung CSA Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.
4. Penentuan jenis panel surya yang paling optimal berdasarkan potensi energi dan analisis secara ekonomi di atap Gedung CSA Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.
5. Perencanaan pembangkit ini menggunakan data radiasi matahari dengan pengukuran secara langsung di lapangan serta data beban dengan pembacaan langsung di lapangan.
6. Pemilihan panel monokristalin dan polikristalin pada penelitian ini hanya berdasarkan pada perbedaan harga panel.

I.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Sebagai bahan kajian kepada Fakultas Teknik Unhaas Gowa agar melakukan pengembangan energi terbarukan.
2. Menjadi referensi bagi mahasiswa untuk memperdalam ilmu dan pengetahuannya mengenai pembangkit energi terbarukan (PLTS).

I.6 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada tugas akhir ini adalah:

1. Studi literatur

Studi literatur yakni sebuah kajian yang dilakukan oleh penulis sebagai referensi dari penulisan ini yang berupa buku, jurnal ilmiah, maupun media lainnya.

2. Pengamatan di lapangan

Pengamatan dilakukan di lapangan.

3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan pengukuran di lapangan.

4. Analisis Data

Data yang telah dikumpulkan kemudian diolah yakni dengan menganalisis daya keluaran dan analisis ekonominya.

5. Kesimpulan

Kesimpulan dilakukan setelah analisi data.

I.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan pada penelitian ini yaitu:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini merupakan bab yang berisi tentang uraian dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori penunjang dan literatur/referensi terkait PLTS dan metode yang digunakan dalam perhitungan daya keluaran serta perhitungan ekonomis pemasangan PLTS.

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisi tentang segala metode yang digunakan dalam penyelesaian penelitian ini.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi desain rancangan yang diperoleh selama penelitian berlangsung beserta perhitungan nilai ekonomi tekniknya.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dan saran yang dapat diambil dalam melakukan penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Bentuk-Bentuk Energi

Energi merupakan kemampuan untuk melakukan sebuah usaha. Energi dapat diubah dari suatu bentuk energi ke bentuk lainnya dan oleh karena itu, kebanyakan diskusi mengenai energi selalu menyangkut dengan hal konversi energi dari satu bentuk ke bentuk yang lain sehingga dapat menghasilkan kerja/usaha. Terdapat sebuah prinsip menyatakan bahwa jumlah total energi pada suatu sistem tertutup adalah konstan. Prinsip ini dikenal dengan ‘Konservasi Energi’ yang sangat penting untuk memahami berbagai macam fenomena. Berikut kita akan mengidentifikasi berbagai bentuk energi dan perubahan bentuk energi dari bentuk satu ke bentuk yang lain [3].

(a) Energi kinetik

Energi dari pergerakan disebut dengan energi kinetik. Jika suatu benda memiliki massa (m) dan kecepatan (v), maka energi kinetiknya adalah

$$KE = \frac{mv^2}{2} \text{ (J)} \quad (2.1)$$

Dimana satuan m dalam kg dan v dalam m/s.

(b) Energi Potensial

Energi yang dimiliki suatu objek sebagai hasil dari elevasinya dalam medan gravitasi dinamakan energi potensial dan dinyatakan sebagai

$$PE = mgh \text{ (J)} \quad (2.2)$$

Dimana m merupakan massa (kg), g merupakan percepatan gravitasi (m/s^2) dan h adalah ketinggian (m).

(c) Energi Kimia

Energi kimia bangkit dari kapasitas atom untuk menyusun panas yang mereka gabungkan atau pisahkan. Ketika bahan kimia tertentu bergabung, energi dilepaskan (pada umumnya dalam bentuk panas). Ini merupakan energi kimia pada batu bara, gas alam, minyak, kayu yang menghangatkan rumah kita, menyalakan mobil, dan digunakan untuk membangkitkan energi listrik. dan juga energi kimia yang terdapat dalam makanan yang menyediakan energi yang kita butuhkan dalam kehidupan sehari-hari.

(d) Energi Listrik

Energi listrik bangkit dari kapasitas dari elektron yang bergerak yang menyusun panas, radiasi elektromagnetik dan medan magnet. Jika kawat terhubung pada terminal baterai dan kemudian kawat dihubungkan ke bola lampu atau resistor, energi yang terdapat dalam baterai dikirimkan melalui kawat dan hilang dalam bentuk panas yang terdapat pada resistor. Ada beberapa macam sumber energi listrik selain baterai.

(e) Energi Panas

Energi panas merupakan energi kinetik dari suatu molekul. Dalam kehidupan sehari-hari kita sering kali membahas bentuk panas dan bentuk terpendam dari energi dalam sebagai panas dan kita juga membahas tentang kandungan panas dari tubuh kita. Energi panas juga disebut dengan energi termal.

(f) Energi *Radiant*

Energi radiant adalah energi yang melintas melalui ruang. Ini dipancarkan oleh elektron ketika mereka berganti orbit dan oleh *atomic nuclei* selama pemecahan dan penyatuan; dengan jelasnya, suatu energi yang pada akhirnya timbul dalam bentuk panas. Hanya panas *radiant* yang dapat timbul dengan sendirinya; bentuk lainnya membutuhkan zat lain.

(g) Energi Nuklir

Energi nuklir bangkit dari eliminasi dari semua bagian massa dari partikel-partikel atomik. Berkat teori relativitas khusus, hal ini dapat ditunjukkan bahwa jika massa dari beberapa sistem dikurangi oleh jumlah Δm , seperti pada reaksi nuklir, kemudian jumlah dari energi dilepaskan adalah

$$E_n = \Delta mc^2 \quad (2.3)$$

Dimana c merupakan kecepatan cahaya ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$).

Tabel 2. 1 Bentuk-Bentuk Energi [3]

Kimia	
Nuklir	
<i>Radiant</i>	
Listrik	
Mekanik (Kinetik, Potensial)	
Sumber utama	Penggunaan Akhir
Batu bara	Panas
Minyak	Cahaya
Gas Alam	Gerak
Uranium-nuklir	Listrik
Radiasi Matahari	Proses Kimiawi

Tabel 2. 2 Konversi Energi [3]

	Ke Kimia	Ke listrik	Ke Panas	Ke Cahaya	Ke Mekanik
Dari Kimia	makanan tumbuhan	<i>baterai fuel cell</i>	api makanan	lilin <i>phosphorescence</i>	roket otot
Dari Listrik	<i>baterai elektrolisis electroplating</i>	transistor transformer	pemanggang lampu pijar spark plug	lampu fl led	Motor-listrik <i>relay</i>
Dari Panas	<i>gasification vaporization</i>	<i>thermocouple</i>	<i>heatpump heat exchanger</i>	api	turbin mesin gas mesin uap
Dari Cahaya	photosynthesis solar cell	Sel surya	lampu pijar radiant solar	laser	<i>photoelectric pembuka - pintu</i>
Dari Mekanik	<i>heat cell kristalisasi</i>	<i>generator alternator</i>	<i>Friction- brake</i>	<i>flint spark</i>	<i>flywheel pendulum water wheel</i>

II.2 Energi Terbarukan

Energi terbarukan merupakan sumber energi yang ramah lingkungan yang tersedia di bumi ini. Energi terbarukan berasal dari unsur-unsur alam yang bisa habis secara alamiah, seperti angin, air, matahari, tumbuhan, dan sebagainya [4].

Tenaga surya, tenaga angin, biomassa dan tenaga air merupakan jenis energi terbarukan yang terdapat di seluruh wilayah Indonesia. Energi terbarukan tersebut merupakan bentuk teknologi yang paling cocok untuk penyediaan energi pada daerah-daerah terpencil dan perdesaan. Energi terbarukan lainnya termasuk panas bumi dan energi pasang surut merupakan teknologi yang tidak tersedia di semua tempat. Indonesia memiliki sumber panas bumi yang melimpah; yakni sekitar 40% dari sumber total dunia. Akan tetapi sumbernya tidak tersebar luas dan berada pada tempat yang lebih spesifik. Indonesia juga memiliki teknologi energi terbarukan yaitu tenaga ombak, namun masih dalam tahap pengembangan [5].

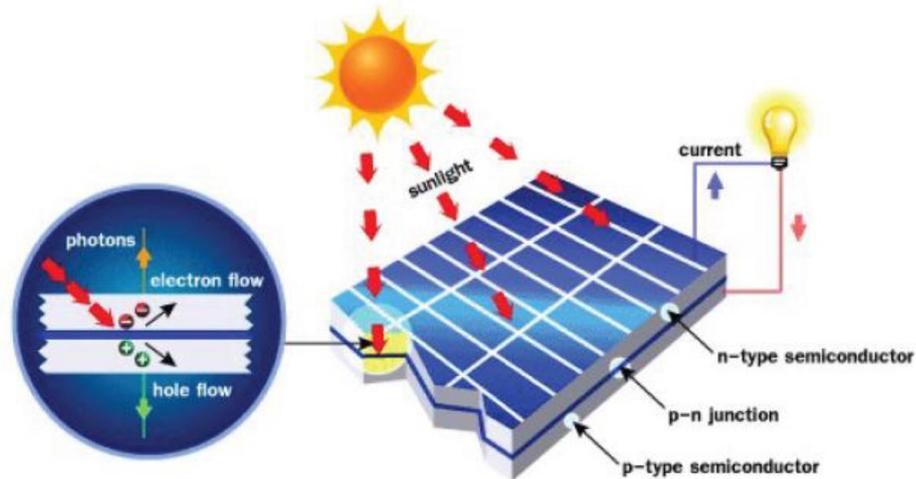
II.3 PLTS

Indonesia memiliki iklim tropis sehingga mempunyai keuntungan cukup besar yaitu menerima sinar matahari yang berkesinambungan sepanjang tahun. Tetapi pemanfaatan energi tersebut belum dipergunakan dengan baik. Energi matahari dapat dimanfaatkan dengan bantuan peralatan lain, yaitu dengan merubah radiasi matahari ke bentuk lain. Terdapat dua macam cara merubah radiasi matahari ke dalam bentuk energi lain, yaitu melalui sel surya dan *collector*. Pengembangan PLTS akan lebih banyak dilakukan dikarenakan sumbernya tersebar luas dan sangat cocok diberbagai tempat seperti pedesaan, perkotaan, perumahan, dan sebagainya. Energi surya merupakan salah satu energi terbarukan yang sangat bersih dan menjanjikan dikarenakan tidak adanya polusi yang dihasilkan serta sumber energinya yang melimpah [6].

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan suatu pembangkit listrik yang mengubah energi foton menjadi energi listrik. Perubahan energi dilakukan panel surya yang terdiri dari lapisan-lapisan silikon tipis murni atau bahan semikonduktor lainnya. Silikon ini diproses sedemikian rupa sehingga dapat mengeksitasi elektron dari ikatannya menjadi elektron bebas. Hal ini akan menyebabkan keluarnya tegangan listrik arus searah (DC) [7].

Sel surya merupakan sebuah diode PN *junction* dibawah iluminasi cahaya. Cahaya matahari terdiri dari foton-foton (kumpulan dari energi). Foton-foton ini mengandung bermacam-macam muatan Energi bergantung pada perbedaan Panjang gelombang cahaya. Ketika foton mengenai sebuah sel surya foton-foton ini bisa saja terpantulkan atau terserap atau bahkan terus melewati sel. Ketika

radiasi matahari terserap dalam diode PN *junction*, *Electron Hole Pair (EHP)* terbangkitkan [8].



Gambar 2. 1 Efek Fotovoltaik [8]

- *Electron Hole Pair (EHP)* terbangkitkan pada *depletion layer*- elektron dicabut ke arah sisi P disebabkan karena medan listrik.
- *Electron Hole Pair (EHP)* terbangkitkan di wilayah netral *quasi*- pada wilayah ini, elektron dan *holes* dari *Electron Hole Pair (EHP)* akan berkeliling disekitaran wilayah secara acak. Tidak terdapat gaya listrik yang mengarahkan arah gerakannya.
- *Minority carrier* dari wilayah P dan N- *Minority carrier* disekitaran wilayah deplesi juga akan terarahkan oleh medan listrik.

Pada keadaan ini akan terjadi kenaikan muatan positif pada sisi P dan kenaikan muatan negative pada sisi N. kenaikan muatan positif dan negatif menyebabkan munculnya perbedaan potensial sepanjang PN *junction* seiring dengan cahaya yang menyinari sel surya. Pembangkitan tegangan ini dikenal dengan istilah efek *photovoltaic* [8].

Energi surya yang diubah menjadi energi listrik disebut dengan energi *photovoltaic*. Pada awalnya teknologi sel surya hanya digunakan sebagai pembangkit listrik di daerah pedesaan terpencil. Tetapi, hal tersebut kemudian berkembang menjadi lampu penerangan jalan berenergi surya, penyediaan listrik di tempat umum dan lainnya [9].

Keberhasilan produksi dari PLTS tidak terlepas dari berbagai macam faktor yang mempengaruhi hasil produksi. Unjuk kerja PLTS ini perlu diperhatikan mengingat banyak faktor yang mempengaruhi kinerja pembangkit dan hasil energi listrik yang diproduksi nantinya. Faktor – faktor yang mempengaruhi produksi energi listrik PLTS adalah radiasi matahari, energi yang dihasilkan modul surya dapat menurun atau meningkat tergantung dari radiasi matahari pada lokasi pengukuran dan suhu modul surya juga mampu mempengaruhi hasil energi yang dibangkitkan karena energi yang dihasilkan menurun seiring dengan meningkatnya suhu tergantung dari besarnya koefisien suhu pada modul surya [10].

Jenis - jenis panel surya [11]:

1. Monokristal (*Mono-crystalline*), merupakan jenis panel surya yang paling cocok digunakan pada daerah-daerah yang memiliki cuaca yang cukup ekstrim. Jenis ini juga merupakan jenis yang digunakan pada penggunaan konsumsi energi yang cukup besar. Monokristalin merupakan panel dengan efisiensi sampai dengan 15% yang dihasilkan dari teknologi yang terkini dan menghasilkan daya listrik yang sangat tinggi. Kelemahan dari panel jenis ini yaitu tidak cocok pada kondisi cuaca berawan dan tempat yang cahaya matahari kurang.

2. Polikristal (*Poly-Crystalline*), merupakan panel surya yang memiliki susunan kristal acak. Jenis ini memiliki tingkat efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan panel monokristalin, tetapi juga memiliki harga yang cukup rendah. Tipe ini memerlukan luas permukaan yang lebih besar untuk menghasilkan daya listrik yang sama dengan jenis panel monokristalin.
3. *Thin Film Photovoltaic*, merupakan panel surya dengan struktur lapisan tipis yang terdiri atas *mikrokristalsilicon* dan *amorphous* dengan efisiensi modul lebih rendah dari panel surya monokristalin dan polikristalin yaitu 8.5%. Untuk menghasilkan daya yang lebih besar dari monokristalin dan polikristalin, diperlukan luas permukaan yang lebih besar. Tetapi, jenis ini sangat efisien untuk daerah dengan cuaca berawan.

II.3.1 Kapasitas Komponen Panel Surya

II.3.1.1 Jumlah Panel Surya

Daya (*Wattpeak*) yang dapat dibangkitkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dalam memenuhi kebutuhan energi, dapat diperhitungkan dengan persamaan-persamaan sebagai berikut [12]:

1. Area Array (*PV Area*)

Area array (*PV Area*) dapat diperhitungkan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$PV \text{ Area} = \frac{W}{G_{av} \times TCF \times n_{PV} \times n_{out}} \quad (2.4)$$

Dimana:

PV Area = Luas permukaan panel surya (m²)

W = Energi yang dibangkitkan (kWh/hari)

G_{av} = Intensitas sinar matahari (kWh/m^2)

TCF = *Temperature correction Factor*

η_{pv} = Efisiensi modul

η_{out} = Efisiensi keluaran

2. Menghitung Daya yang Dibangkitkan PLTS (*wattpeak*)

Besar daya yang dibangkitkan PLTS (*wattpeak*) dari perhitungan area *array* dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$P_{Wattpeak} = PV \text{ Area} \times PSI \times n_{PV} \quad (2.5)$$

Dimana:

PSI = Peak Solar Insolation adalah 1.000 W/m^2

Selanjutnya jumlah panel surya yang diperlukan berdasarkan besar daya yang akan dibangkitkan (*wattpeak*), dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{P_{Wattpeak}}{P_{MPP}} \quad (2.6)$$

Dimana:

$P_{wattpeak}$ = Daya yang dibangkitkan (W_p)

P_{MPP} = Daya maksimum keluaran panel surya (Watt)

II.3.1.2 *Charge Controller*

Charge Controller merupakan perangkat elektronik yang digunakan sebagai pengatur dalam pengisian arus listrik (DC) dari panel surya ke baterai dan dari baterai ke beban (peralatan listrik). *Charge Controller* mempunyai kemampuan untuk mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai sudah penuh terisi maka secara

otomatis pengisian arus dari panel surya berhenti [13]. Perhitungan *charge controller* dapat dihitung dengan rumus [14]:

$$I \text{ maks PV} = \text{Arus puncak (Impp)} \times \text{Jumlah modul} \quad (2.7)$$

II.3.1.3 Baterai

Baterai merupakan komponen dari PLTS yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik. [13]. Hal hal yang perlu diperhatikan untuk menentukan kapasitas baterai adalah [14]:

- a. DOD (*Deep of Discharge*), yaitu kedalaman kapasitas yang dapat digunakan pada baterai, yakni 80%. DOD ini ditentukan oleh pabrik produksi baterai tersebut.
- b. *Autonom days*, yaitu parameter keadaan di mana lamanya (hari) jika cuaca buruk selama beberapa hari atau keadaan di mana energi matahari tidak maksimal, sehingga modul surya tidak memperoleh suplai energi yang cukup. Di Indonesia penetapan hari otonomi adalah selama 3 hari.
- c. Efisiensi baterai.

Maka besar kapasitas baterai yang dibutuhkan dapat dihitung dengan rumus:

$$C = \frac{W \times AD}{DOD \times V_s} \quad (2.8)$$

Dimana:

W = Energi yang dibangkitkan (kWh/hari)

AD = *Autonom days*

DOD = *Deep of Discharge*

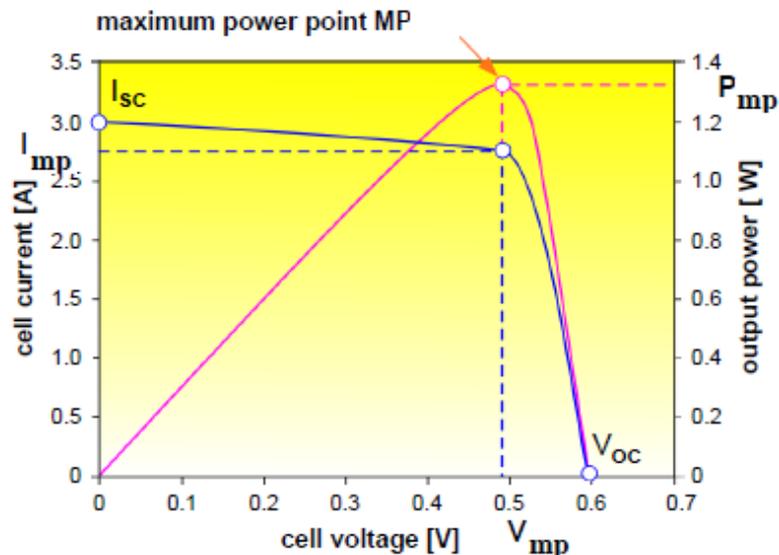
V_s = Tegangan sistem

II.3.1.4 Inverter

Inverter merupakan komponen PLTS yang berfungsi untuk mengubah arus listrik searah ke arus listrik bolak-balik dan kapasitas dari *inverter* ditentukan dengan menyesuaikan kapasitas dari *charge controller* [14].

II.3.2 Kurva Karakteristik Sel Surya

Kurva karakteristik dari sel surya merupakan kurva yang menunjukkan hubungan antara arus dengan tegangan keluaran (kurva I-V) dan daya dengan tegangan keluaran sel surya (kurva P-V). Kurva ini dapat dilihat pada gambar berikut [15]:



Gambar 2. 2 Kurva karakteristik Arus-Tegangan dan Daya-Tegangan pada Sel Surya [16]

Pada saat keluaran sel surya berada pada keadaan *open cicuit* atau tidak terhubung dengan beban, maka tidak ada arus yang mengalir sehingga tegangan pada sel tersebut bernilai maksimum, atau biasa disebut tegangan *open circuit* (V_{oc}).

Pada kondisi lain, ketika keluaran sel surya berada dalam keadaan *short cicuit* atau dihubung singkat maka nilai arus akan maksimum, atau sering disebut arus *short circuit* (I_{sc}). Ketika tegangan maksimum (V_{mp}) dan arus maksimum (I_{mp}) maka akan menghasilkan daya maksimum (P_{mp}) pula. *Maximum Power Point* (MPP) merupakan nilai arus dan tegangan pada titik yang menghasilkan daya terbesar [17].

II.4 Analisis Ekonomi

Dalam perhitungan analisis secara ekonomis terhadap pembangunan PLTS ada berbagai macam indicator yang dapat digunakan, yaitu *Life Cycle Cost*, *Pay Back Periode*, *Net Present Value*, *Internal Rate of Return*, *Cost of Energy*, dan *Benefit Cost Ratio*.

II.4.1 Life Cycle Cost

Life Cycle Cost (LCC) sistem PLTS dihitung dari penjumlahan antara biaya investasi awal dan biaya present value operasional dan maintenance (O&M). Perhitungan besar O&M sistem PLTS per tahun sebesar 1-2 % dari total biaya investasi awal dari sistem PLTS. Setelah mempertimbangkan kondisi iklim dan cuaca di lokasi pemasangan sistem PLTS, maka besar O&M per tahun ditentukan 1% dari total biaya investasi awal dari sistem PLTS. Berikut rumus yang digunakan untuk menghitung nilai LCC panel surya [18].

$$LCC = S + Q \& M_p \quad (2.9)$$

$$O \& M_p = O \& M \times \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (2.10)$$

Di mana,

S : Investasi awal

$O \& M_p$: Biaya present value O&M

O&M : Biaya O&M per tahun

i : Tingkat bunga Bank

n : Lama proyek

II.4.2 *Cost of Energy*

Cost of Energy dari suatu sistem PLTS adalah hasil bagi antara penjumlahan O&M dengan biaya Investasi Awal yang telah dikalikan dengan faktor pemulian modalnya dan total energi yang dihasilkan per tahun. Berikut persamaan dalam menentukan nilai CoE [18].

$$\text{COE} = \frac{S \times \text{CRF} + \text{O\&M}}{A \text{ kWh}} \quad (2.11)$$

$$\text{CRF} = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2.12)$$

Di mana,

CRF : *Cost Recovery Factor*

i : Tingkat bunga Bank

n : Lama proyek

II.4.3 *Payback Periode*

Payback periode adalah lamanya waktu yang diperlukan agar biaya investasi yang telah dikeluarkan dapat dikembalikan kepada investor. Nilai *payback periode* dapat dihitung dengan membagi besar investasi yang dilakukan dengan jumlah pendapat dalam pertahun. Semakin kecil nilainya maka semakin cepat pula biaya investasi akan dikembalikan [18].

II.4.4 *Net Present Value*

Net Present Value atau NPV merupakan Teknik yang digunakan untuk mengetahui keuntungan dari sebuah investasi atau proyek. NPV sangat bergantung pada perubahan nilai mata uang atau suatu barang. Nilai NPV digunakan untuk membandingkan pendapatan yang diterima pada masa sekarang dan masa mendatang dengan menggunakan variabel inflasi dan laju pengembalian [18].

NPV meroakan perbandingan antara nilai investasi dan biaya. Jika nilai NPV bernilai negatif maka investasi atau proyek tersebut tidak layak untuk dilakukan. Sebaliknya, jika nilai NPV bernilai positif maka investasi atau proyek tersebut layak untuk dilaksanagn. Jika nilai NPV sama dengan nol, maka investasi tersebut tidak berarti atau dapat dikatakan tidak memiliki keuntungan maupun kerugian. Berikut adalah rumus untuk menentukan nilai dari NPV [18].

$$NPV = -S + \sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t} \quad (2.13)$$

Di mana,

i: tingkat bunga Bank

n: usia atau masa kerja dari panel surya (tahun)

t: tahun yang akan dihitung (tahun)

S: investasi awal

NCF: pendapatan bersih hingga tahun ke-n

II.4.5 *Benefit Cost Ratio*

Benefit Cost Ratio (BCR) adalah nilai persen uang yang diperoleh dari suatu pembangkit setelah dibandingkan dengan biaya investasi pembangunan pembangkit dan biaya operasional dan perawatan. Berikut pengertian nilai yang diperoleh dari perhitungan BCR [18].

- a) Biaya investasi akan diperoleh kembali secara penuh jika nilai SIR bernilai 1.
- b) Penghematan akan lebih besar daripada investasi jika nilai SIR bernilai lebih dari 1.
- c) Biaya investasi akan lebih besar daripada penghematan sistem jika nilai SIR bernilai kurang dari 1.

Jika nilai BCR yang diperoleh 0,5 maka dapat disimpulkan nilai payback periode yang diperoleh hanya sebesar 50% dari total investasi. Namun jika nilai BCR yang diperoleh 1,5 maka penghematan melebihi biaya investasi sebesar 50%. Berikut rumus BCR [18].

$$BCR = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{NCF_t}{(1+i)^t}}{S} \quad (2.14)$$

Di mana, BCR: *Benefit Cost Ratio*

NCF_t : *Net Cash Flow* pada tahun ke-t

t : tahun

S : biaya investasi awal

n : total tahun

i : tingkat bunga bank

II.4.6 *Internal Rate of Return (IRR)*

IRR merupakan nilai tingkat bunga yang menjadi titik keseimbangan antara keseluruhan pengeluaran dan pemasukan. Dengan kata lain, tingkat suku bunga di mana perolehan nilai NPV sama dengan 0 disebut IRR. Metode perhitungan IRR digunakan dengan membandingkan antara nilai suku bunga yang dapat dihasilkan oleh investasi tersebut dengan nilai suku bunga bank yang berlaku umum. Di bawah ini adalah rumus untuk menghitung IRR [18].

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} (i_2 - i_1) \quad (2.15)$$

Di mana,

NPV_1 : NPV ketika i_1

NPV_2 : NPV ketika i_2

i_1 : *Discount rate* rendah

i_2 : *Discount rate* tinggi