

BAB II

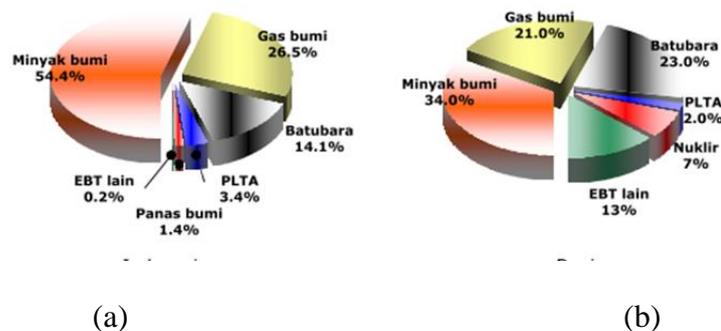
LANDASAN TEORI

2.1 Energi

Energi adalah sesuatu yang tidak bisa terlihat atau abstrak akan tetapi dapat dirasakan adanya, energi adalah suatu kemampuan untuk melakukan sebuah pekerjaan.

Pasokan energi di Indonesia khususnya dan di dunia pada umumnya terus meningkat karena factor penduduk yang terus bertambah, lalu pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi yang semakin meningkat, sedangkan energi fosil yan selama ini merupakan sumber energi utama seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.1 gambar tersebut merupakan kebutuhan energi yang ada di Indonesia dan di dunia, dari gambar tersebut bias di lihat pada gambar bagian (a) itu kebutuhan energi yang di perkirakan sejak 2005 dan pada gambar bagian (b) itu perkiraan kebutuhan energi hingga tahun 2025.

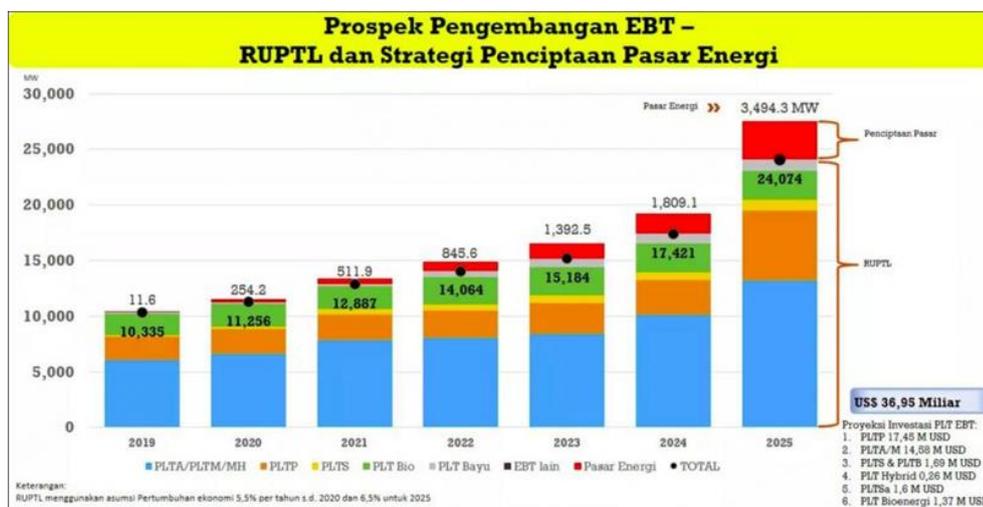
Ketersediaan ini sangatlah terbatas dan terus mengalami deplesi (depletion: kehabisan, menipis) pross alam memerlukan waktu yang sangat lama untuk dapat mendaur ulang atau menyediakan energi fosil ini (Daryanto, 2007).



Gambar 2.1 Energi Mix di Indonesia Tahun 2005-2025

Daryano (2007)

Pemerintah melalui kementerian ESDM juga mencanangkan rencana usaha penyediaan tenaga listrik (RUPTL) 2019-2025 seperti pada **Gambar 2.2**

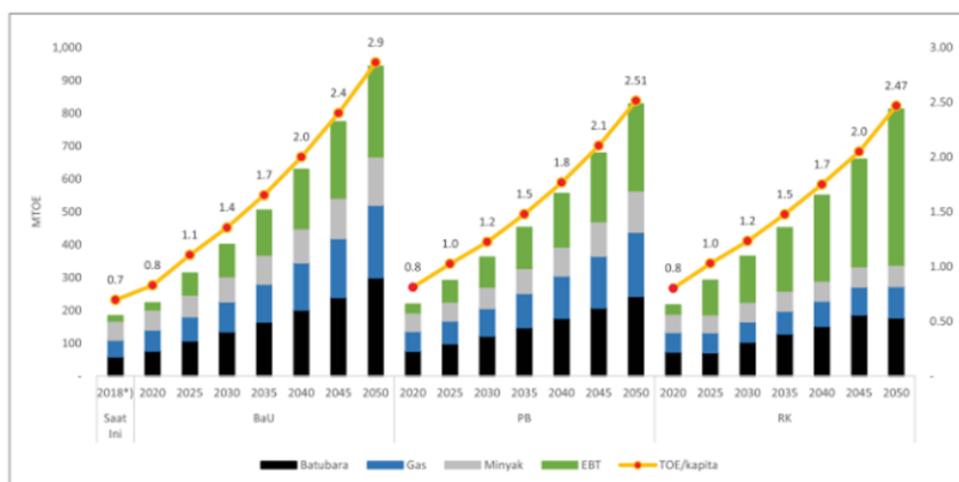


Gambar 2.2 Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2019-2025

Kementerian ESDM

(SIARAN PERS ESDM NOMOR: 692.Pers/04/SJI/2019)

KEN atau ketahanan energi nasional mempunyai target penyediaan energi primer per kapita pada tahun 2025 dan 2050 masing masing sebesar 1,4 TOE/kapita dan 3,2 TOE/kapita. Hasil proyeksi penyediaan energi primer per kapita pada BaU masih berada di bawah target KEN yaitu sebesar 1,1 TOE/kapita pada tahun 2025 dan 2,9 TOE/kapita pada tahun 2050. Demikian pula penyediaan energi primer per kapita pada skenario PB dan RK pada tahun 2050 lebih kecil dari BaU, masing-masing 2,51 TOE/kapita dan 2,47 TOE/kapita. Kondisi ini disebabkan oleh asumsi pertumbuhan ekonomi pada KEN lebih besar dibandingkan asumsi pertumbuhan ekonomi pada skenario tersebut. Proyeksi penyediaan energi primer per kapita untuk ketiga scenario dapat di lihat pada **Gambar 2.3**



Gambar 2.3 Proyeksi Penyediaan Energi Primer per Kapita

(Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional 2019)

2.2 Potensi Energi Baru Terbarukan Indonesia

Produksi energi fosil terutama minyak bumi saat ini di kurangi serta komitmen global dalam pengurangan emisi gas rumah kaca. Mendorong pemerintah Indonesia untuk meningkatkan peran energi baru dan terbarukan secara terus menerus sebagai bagian dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi. Sesuai PP No. 79 Tahun 2014 tentang kebijakan energi nasional, target bauran energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050. Indonesia mempunyai potensi energi baru terbarukan yang cukup besar untuk mencapai target bauran energi primer tersebut (Tim Sekretaris Jenderal Dewan Energi Nasional, 2019).

Minimnya pemanfaatan EBT untuk ketenagalistrikan disebabkan karena masih relative tingginya harga produksi pembangkit berbasis EBT, Sehingga sulit bersaing dengan pembangkit fosil terutama batu bara. Selain itu, kurangnya dukungan industri dalam negeri terkait komponen pembangkit energi terbarukan serta masih sulitnya mendapatkan pendanaan berbunga rendah, juga menjadi

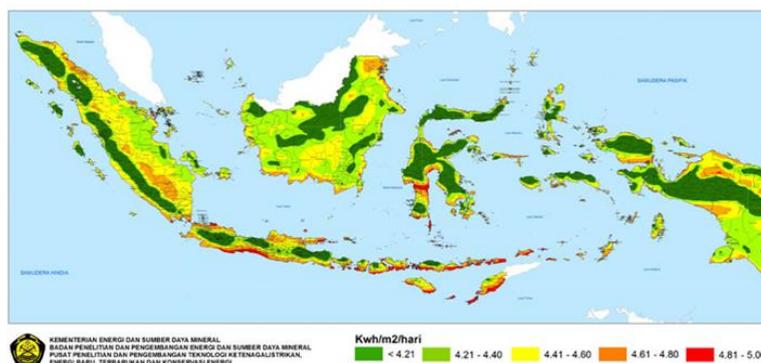
penyebab terhambatnya pengembangan energi terbarukan. Untuk mempercepat pengembangan EBT, pemerintah telah menetapkan beberapa regulasi diantaranya :

1. Peraturan Presiden No. 4 Tahun 2016 Pasal 16 tentang percepatan infrastruktur ketenagalistrikan, mengamanatkan bahwa pelaksanaan percepatan infrastruktur ketenagalistrikan mengutamakan pemanfaatan energi baru dan terbarukan. Pemerintah dan/atau pemerintah daerah dapat memberikan dukungan berupa pemberian insentif fiskal, kemudahan perizinan dan nonperizinan, penetapan harga beli tenaga listrik dari masing masing jenis sumber energi baru dan terbarukan, pembentukan badan usaha tersendiri dalam rangka penyediaan tenaga listrik untuk dijual ke PT. PLN (Persero) dan/atau penyediaan subsidi.
2. Peraturan Menteri Keuangan No.03/PMK.011/2012 tentang cara pengelolaan dan pertanggungjawaban fasilitas dana Geothermal
3. Peraturan Menteri ESDM no. 49 Tahun 2017 merupakan penyempurnaan atas Permen ESDM No. 10 Tahun 2017 tentang pokok-pokok dalam perjanjian jual beli tenaga listrik
4. Peraturan menteri ESDM No. 50 Tahun 2017 merupakan revisi dari Permen ESDM No.12 Tahun 2017 tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik, yang diterbitkan dalam rangka mewujudkan iklim usaha makin baik dengan tetap mendorong praktik efisiensi serta mewujudkan harga listrik yang wajar dan terjangkau.
5. Peraturan Menteri ESDM No.49 Tahun 2018 tentang penggunaan sistem pembangkit listrik tenaga surya atap oleh konsumen PT. Perusahaan Listrik Negara (PLN)

6. Kementrian ESDM menerbitkan peraturan menteri nomor 4 tahun 2020 tentang pemanfaatan sumber energi terbarukan untuk penyediaan tenaga listrik
7. PP No. 79 Tahun 2014 tentang kebijakan energi nasional

2.2.1 Potensi Tenaga Surya

Sumber energi surya/matahari di Indonesia dapat di kelompokkan berdasarkan dengan kawasan barat dan timur Indonesia. Kawasan bagian barat Indonesia (4,5 kWh/m².hari) dengan variasi bulanan sekitar 10% dan kawasan bagian timur Indonesia (5,1 kWh/m².hari) dengan validasi bulanan 9% serta rata-rata Indonesia sekitar 4,8 kWh/m².hari dengan validasi bulanan 9% sehingga potensi energi di indonesia sekitar 4,8 kWh/m².hari atau setara dengan 112000 GWp. Potensi sumber daya energi surya Indonesia terlihat pada **Gambar 2.4**



Gambar 2.4 Peta Potensi Energi Surya

(P3TKEBTKE Litbang Kementrian ESDM, 2014)

Indonesia merupakan negara tropis yang mempunyai potensi energi surya dengan *insolasi* tinggi, dalam peta tersebut menerangkan level *insolasi* yang dijelaskan melalui warna, warna hijau tua 4,21 kWh/m²/hari, Hijau Muda 4,21-40 kWh/m²/hari, Kuning 4,41-4,60 kWh/m²/hari, oranye 4,61-4,80 kWh/m²/hari dan merah 4,81-5,00 kWh/m²/hari. Seperti yang terlihat dalam Gambar 2.4 potensi

pemanfaatan energi surya di wilayah Jawa Barat sangat tinggi bias mencapai 5,00 kWh/m²/hari.

2.2.2 Potensi Energi Biogas

Pemanfaatan Energi baru terbarukan biogas masih minim digunakan, pemerintah Indonesia menargetkan angka pemanfaatan biogas ini sekitar 489 juta meter kubik pertahun di tahun 2025, tetapi realisasi hingga saat ini baru mencapai 26 Juta meter kubik per tahun.

Potensi pemanfaatan biogas di Indonesia sangat besar mencapai 32 Giga Watt tetapi kapasitas pembangkit listrik bioenergi yang terbangun baru 1.896,5 Mega Watt. Sementara target kebijakan energi nasional atau KEN untuk pembangkit Biogas ini sebesar 5.500 Mega Watt. Bioenergi ini merupakan bahan bakar berupa gas hasil fermentasi dari kotoran hewan, manusia, limbah dan sampah (Kepala Subdirektorat Penyiapan Program Bioenergi KESDM, 2020).

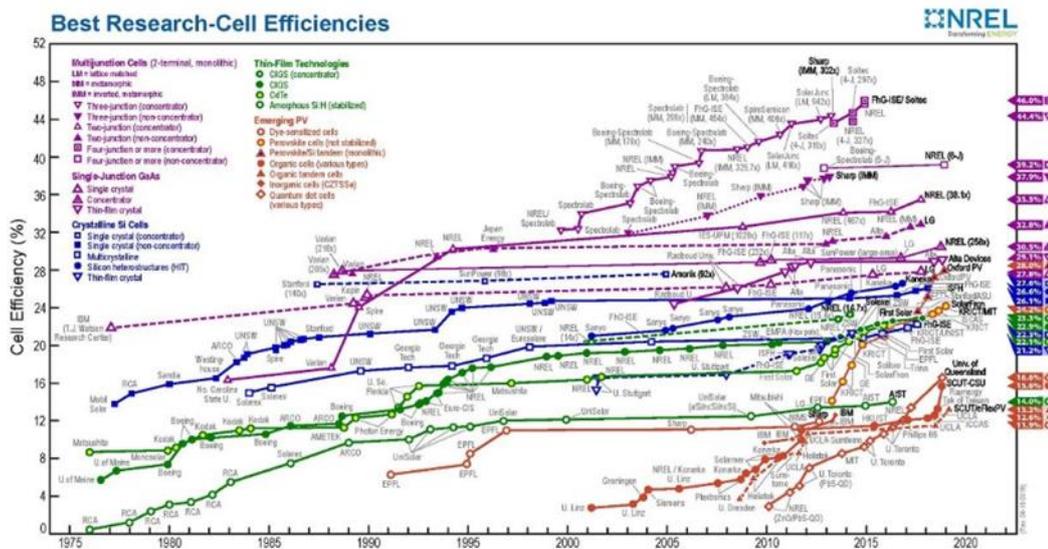
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Wilayah Indonesia terletak pada garis khatulistiwa dengan pentinaran matahari rata-rata 8 jam/hari dengan intensitas radiasi matahari rata-rata 4,80kWh/m²/hari. Sumber energi surya ini dapat dikembangkan menjadi Pembangkit Listrik Tenaga Sel Surya yang merupakan salah satu solusi yang dapat di pertimbangkan sebagai salah satu pembangkit listrik alternatif (Widianto et al., 2019).

Sumber pembangkit listrik dari energi baru terbarukan, seperti sinar matahari (energi surya) tersedia melimpah dan hamper merata diseluruh wilayah Indonesia. Alat yang mampu merubah energi surya menjadi *energy* listrik secara langsung dikenal dengan sel surya (*solar cell*). Sel surya sering disebut pula sebagai

pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) atau sel PV, energi surya adalah salah satu sumber energi yang ramah lingkungan dan sangat menjanjikan pada masa yang akan datang, karena tidak ada polusi yang dihasilkan selama proses konversi energi dan juga sumber energinya banyak tersedia di alam (Widiyanto et al., 2019).

Pada perkembangannya PV dari tahun ke tahun begitu cukup signifikan meningkat dari segi efisiensinya, pengamatan pada PV ini dilakukan dari tahun 1975 sampai 2020 yang diamati oleh Laboratorium Energi Terbarukan Nasional. Perkembangan PV dari tahun 1975 mengalami kemajuan yang signifikan. Dimulai dari PV yang berjenis film tipis yang memiliki efisiensi kurang dari 10%, kemudian berkembang menjadi PV tipe Crystalline yang memiliki efisiensinya sekitar 15% di tahun 1977 kemudian sel PV dengan tipe Multijunction yang memiliki efisiensi sekitar 16% di tahun 1983, kemudian pada tahun 2015 semua jenis PV itu mengalami efisiensi yang meningkat, khususnya PV dengan tipe Multijunction itu mengalami peningkatan efisiensi sekitar 46% (Hiron et al., 2021).



Gambar 2.5 Perkembangan Efisiensi PV dari Tahun 1975-2020

(Hiron et al., 2021)

HOMER menghitung bahwa daya pada PV dapat dihitung dengan pendekatan matematika. *Software* HOMER sebagai pengolah data dan kalkulasi menghitung keluaran daya PV menggunakan persamaan berikut 2.1:

$$W_p = V \cdot I \dots \dots \dots (2.1)$$

Dimana :

WP = Daya pada PV ketika terkena radiasi matahari (Watt)

V = Tegangan pada PV (V)

I = Arus pada PV (A)

Umur pemakaian sel surya biasanya berada pada kisaran 25 tahun, namun kelemahan dari sel surya sendiri adalah dari tingkat efisiensinya sendiri yaitu berkisar antara 12-18%.

Sel surya adalah semi konduktor dimana radiasi matahari diubah menjadi energi listrik. Material sel surya yang sering digunakan yaitu silikon Kristal. Pada saat ini silikon merupakan bahan yang banyak digunakan dalam pembuatan sel surya. Homer memodelkan PV area sebagai keluaran dari sel surya menggunakan persamaan 2.2 :

$$PV \text{ Area} = \frac{E_t}{G_{av} \times TCF \times n_{PV} \times n_{out}} \dots \dots \dots (2.2)$$

Dimana :

PV Area = Luas Array (m^2)

E_t = Besar Konsumsi Energi (kWh)

G_{av} = Minimum Iradiasi Harian (kWh/m^2)

n_{PV} = Efisiensi Modul Surya

n_{out} = Efisiensi Keluaran

TCF = *Temperatur Correction Factor* (%)

Menentukan kapasitas dan jumlah modul surya maka diperlukan pengukuran *temperature correction factor* (TCF), untuk mengetahui nilai TCF menggunakan persamaan 2.3, dan mencari efisiensi keluaran dirumuskan pada 2.4

$$TCF = \frac{P_{mpp} - (\text{temperature coefficient factor} \times P_{mpp} \times \text{Kenaikan Suhu})}{P_{mpp}} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$n_{out} = n_{BCU} n_{inv} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dimana :

n_{bcu} = *Effisiensi Battery Charger unit*

n_{inv} = *Effisiensi Inverter*

Dari perhitungan area array, maka besar daya yang dibangkitkan PLTS (wattpeak) dapat di perhitungkan dengan rumus sebagai berikut :

$$P_{wp} = PV_{area} \times PSI \times npv \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana :

PV_{area} = Luas Permukaan Panel Surya (m^2)

PSI = Peak Solar Insolation adalah $1000 \text{ W}/m^2$

npv = *Effisiensi Panel Surya (%)*

Selanjutnya berdasarkan besar daya yang akan dibangkitkan (wattpeak) maka jumlah panel surya yang di perlukan, di perhitungkan dengan rumus sebagai berikut:

$$npv = \frac{P_{wp}}{P_{mpp}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Untuk menghitung keluaran energi yang dihasilkan dari Sistem PLTS dapat menggunakan persamaan 2.7

$$E_{out} = G_{av} \times TCF \times n_{PV} \times n_{out} \times PV_{area} \dots\dots\dots (2.7)$$

Untuk menghitung densitas daya itu dengan persamanaan 2.8 :

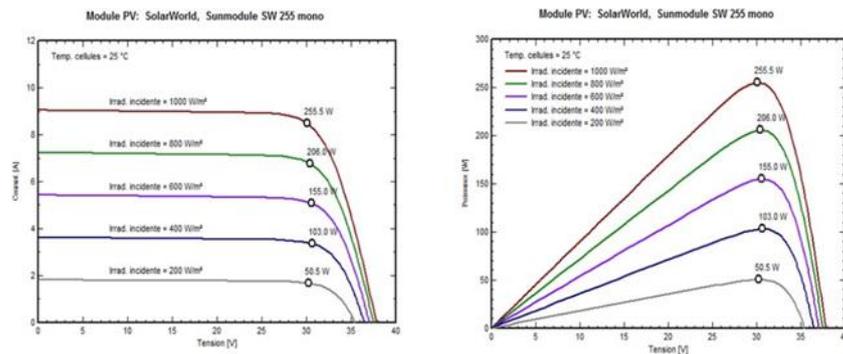
$$\rho = \frac{\text{Total Energi Terbangkitkan}}{\text{Luas Lahan}} \dots\dots\dots (2.8)$$

2.3.1 Mekanisme Kerja Panel Surya

Modul photovoltaic atau solar sel merupakan semikonduktor yang mengkonversi cahaya menjadi listrik, konversi ini disebut efek photovoltaic dengan kata lain efek photovoltaic merupakan fenomena dimana suatu sel photovoltaic menyerap energi cahaya dan mengubahnya menjadi energi listrik. Sel surya mempunyai beberapa jenis diantaranya adalah :

1. Monokristal (*Monocrystalline*)

Jenis panel surya ini merupakan panel yang paling efisien menghasilkan daya listrik persatuan luas yang paling tinggi dan Kelemahan dari panel jenis ini adalah tidak akan berfungsi dengan baik ketika di tempat yang cahaya mataharinya kurang (teduh), efisiensinya akan turun drastis dalam cuaca berawan.



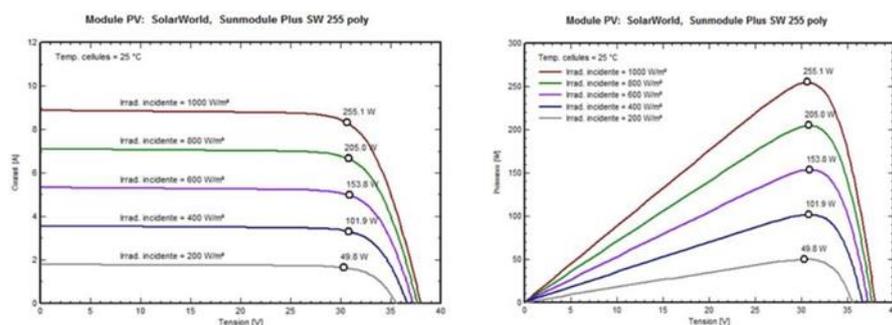
Gambar 2.6 Karakteristik Keluaran Panel Surya Tipe *Monocrystalline*, Karakteristik I-V dan Karakteristik P-V

Sel *monocrystalline* dipotong dari satu kristal silikon murni dengan peleburan mencapai 99,999%. Umumnya dalam panel monocrystalline berwarna hitam. Saat ini dipasaran dunia sel *monocrystalline* memiliki tingkat efisien mencapai 16,5%-19% (standar konvensional) dan 17,5%-22,6% (passivated

emitter and rear contact atau PERC). Dilihat dari segi finansial untuk *monocrystalline* sebanding dengan efisiensi yang didapat serta cocok digunakan untuk penggunaan *on grid* dan PLTS skala menengah dan besar (Asclepias Rachmi, 2020).

2. *Polycrystalline / multicrystalline*

Panel ini memiliki level silicon yang lebih rendah dari panel *monocrystalline* maka panel ini sedikit lebih murah harganya dan sedikit lebih rendah efisiensinya dari panel *monocrystalline*. Panel *polycrystalline* merupakan panel surya *solar cell* yang memiliki susunan Kristal acak. Tipe *polycrystalline* memerlukan luas permukaan yang lebih besar dibandingkan dengan jenis *monocrystalline* untuk menghasilkan daya listrik pada saat mendung.



Gambar 2.7 Karakteristik Keluaran Panel Surya Tipe *Polycrystalline*,

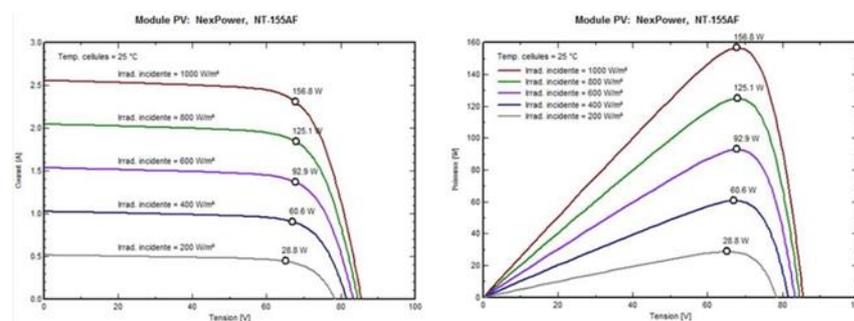
Karakteristik I-V dan Karakteristik P-V

Sel *polycrystalline* merupakan sel yang terdiri dari fragmen Kristal silicon yang dilebur bersama dalam cetakan sebelum dipotong. Umumnya sel *polycrystalline* cenderung memiliki rona kebiruan. Sel *polycrystalline* memiliki efisiensi mencapai 15%-18% (standar konvensional) dan 17,5%-19,5% (*passivated emitter and rear contact* atau PERC) di pasaran dunia saat ini serta dari segi finansial jenis ini merupakan jenis harga termurah di antara

jenis solar panel lainnya. *Polycrystalline* sangat cocok digunakan untuk penggunaan solar *home system*, *off grid*, dan PJU tenaga surya (PJUTS) (Marpaung et al., 2020).

3. *Thin Film*

Jenis ini merupakan sel surya pada unsur periodik III – V yang berbahan semikonduktor. Sel surya ini sangat efisien dan efektif untuk menghasilkan energi listrik sekitar 25% dan sering di aplikasikan pada pembuatan perangkat seperti : *microwave frequency integrated circuits*, *monolithic microwave integrated circuits*, *infrared light emitting diode*, *sel surya*, *optical windows* dan *diode laser* (Schwarz et al., 2014).



Gambar 2.8 Karakteristik Keluaran Panel Surya Tipe *Thin Film*, Karakteristik I-V dan Karakteristik P-V

Sel thin film merupakan sel panel surya yang terbuat dari berbagai bahan, umumnya yang digunakan yaitu telluride (CdTe), silicon amorf (a-Si), copper indium gallium selenide (CIGS) dan gallium arsenide (GaAs). Sel thin film memiliki warna yang tergantung material pembuatnya. Sel thin film di pasaran saat ini memiliki tingkat efisiensi sebagai berikut: CdTe (9%-11%), a-Si (6%-8%), CIGS (10%-12%), GaAs (28,8%). Dari segi finansial harga sel thin film masih mahal dan biasanya digunakan untuk kebutuhan spesifik serta cocok

untuk penggunaan PLTS portable pada mobil, perahu, area pemasangannya yang tidak dapat menahan beban berat serta BIPV (Asclepias Rachmi, 2020).

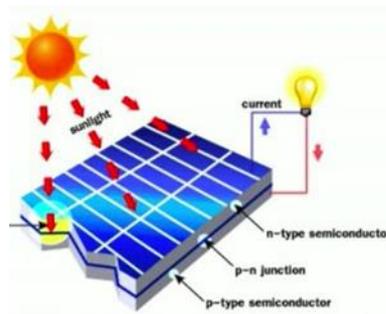
Panel surya *monocrystalline* dan *polycrystalline* merupakan panel surya yang banyak digunakan di surya atap, berikut perbedaan keduanya secara spesifik sebagai berikut:

1. Secara efisiensi dan biaya, *monocrystalline* memiliki efisiensi lebih besar dengan harga lebih tinggi, sedangkan *polycrystalline* memiliki efisiensi lebih kecil dengan harga lebih murah;
2. Secara kinerja, *monocrystalline* berkinerja lebih baik ketika terkena cahaya langsung, sedangkan *polycrystalline* berkinerja lebih baik dalam pencahayaan tidak langsung (terdifusi)
3. Secara kapasitas, *Monocrystalline* masih terus dikembangkan dan menjadi fokus pengembangan panel surya yang berasal dari Kristal silikon dengan unsur lain. Panel surya berkualitas baik akan tahan lama, andal dan mudah dipasang. Panel ini dapat digunakan dalam berbagai iklim, serta memiliki unsur teknis (*lifetime*) minimal 25 tahun, dengan penurunan efisiensi (*derating factor*) yang kecil yaitu di bawah 1% per tahun jika dipasang dan dipelihara dengan baik.

Mekanisme kerja konversi energi cahaya terjadi akibat perpindahan elektron bebas di dalam suatu atom. Sel surya umumnya menggunakan bahan semikonduktor adalah padatan berupa logam yang konduktifitas elektriknya ditentukan oleh elektron valensinya. Material semikonduktor konduktifitasnya akan meningkat secara signifikan saat foton dari sumber cahaya membentuk suatu electron valensi

dari atom semikonduktor, akan mengakibatkan suatu yang cukup besar untuk memisahkan elektron tersebut terlepas dari struktur atomnya.

Elektron yang terlepas dari muatan negative akan menjadi bebas bergerak didalam bidang Kristal dan berada paa daerah peta konduksi dari material semikonduktor. Hilangnya elektron mengakibatkan suatu kekosongan pada stuktur Kristal yang disebut “hole” dengan muatan positif. Daerah semikonduktor dengan elektron bebas dan bersifat negative bertindak sebagai donor elektron. Daerah ini disebut *negative type (n-type)*. Sedangkan daerah semikonduktor dengan hole, bersifat positif bertindak sebagai penerima (Acceptor) elektron. Daerah ini disebut *Positive Type (p-type)*. Ikatan dari kedua sisi positif dan negative menghasilkan energi listrik internal yang akan mendorong elektron bebas dan *hole* untuk bergerak kea rah berlawanan. Electron akan bergerak menjauhi sisi negative, sedangkan *hole* bergerak menjauhi sisi positif. Ketika p-n junction dihubungkan degan beban maka tercipta sebuah arus listrik (Julisman *et al.*, 2017).



Gambar 2.9 Prinsip Kerja Sel Surya

(Julisman et al., 2017)

Jika PV array memilih untuk mempertimbangkan efek suhu pada PV array Homer menghitung suhu sel di setiap langkah waktu dan menggunakan dalam menghitung output daya array PV menggunakan persamaan 2.4

$$\tau\alpha G_T = \eta c G_T + U_L(T_c - T_\alpha) \dots \dots \dots (2.4)$$

Dimana :

τ = Transmittansi matahari dari setiap penutup atas array PV (%)

α = Penyerapan solar dari array PV (%)

G_T = Radiasi matahari terhubung array (kW/m²)

η_c = Efisiensi konversi listrik dari array PV (%)

U_L = Koefisien perpindahan panas ke sekitarnya (kW/m²°C)

T_c = Suhu sel PV (°C)

T_α = suhu lingkungan (°C)

Panel Surya sangat mudah dalam hal pemeliharaan karena tidak ada bagian yang bergerak, satu satunya hal yang harus di khawatirkan adalah memastikan untuk menyingkirkan segala hal yang dapat menghalangi sinar matahari ke panel surya tersebut (Septiadi et al., 2019).

Unit satuan Watt-peak adalah satuan daya yang dibangkitkan oleh module photovoltaic dalam keadaan standar uji (*standard test condition* STC) atau jumlah energi yang di produksi dibawah kondisi standar dari pemancaran 1 kW/m² dan temperature panel sebesar 25°C. dalam HOMER ukuran dari PV array selalu ditentukan pada bagian kapasitas yang diizinkan.

2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Biogas

Kegiatan Peternakan di Indonesia termasuk salah satu dari kegiatan penghasil energi biogas yang sangat besar. Biogas adalah campuran gas yang mudah terbakar dihasilkan oleh bakteri metanogenik yang terjadi pada material-material yang dapat terurai secara alami dalam kondisi anaerobic. Pemanfaatan pada biogas sendiri mempunyai beberapa keunggulan jika dibandingkan dengan bahan bakar minyak

(BBM) yang berasal dari fosil karena biogas mempunyai sifat yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui (Purnomo et al., 2020).

Prinsip dasar teknologi biogas adalah proses penguraian bahan-bahan organik oleh mikroorganisme dalam kondisi tanpa udara (anaerob) untuk menghasilkan campuran dari beberapa gas, diantaranya metan (CH_4) dan karbondioksida (CO_2). Biogas dihasilkan dengan bantuan bakteri metanorgen atau metanogenik. Bakteri ini secara alami terdapat pada limbah yang mengandung bahan organik, seperti limbah ternak dan sampah organik. Energi yang terkandung dalam biogas cukup besar dimana 1 meter kubik biogas setara dengan kurang lebih 6 kWh atau setara dengan setengah liter minyak diesel (Setiyono et al., 2022).

Biogas yang mampu memiliki potensi sebagai bahan baku pembangkit listrik maka energi biogas tersebut dapat dikonversikan menjadi energi listrik dengan mengetahui jumlah produksi kotorannya dari setiap jenis hewan ternak per harinya. Untuk dapat mengetahui jumlah kotoran yang dihasilkan oleh hewan ternak per harinya dapat dilihat pada **Tabel 2.1** (Santoso et al., 2019).

Tabel 2.1 Massa Kotoran, Kandungan Bahan Kering dan Produksi Biogas

(Santoso et al., 2019)

Jumlah Hewan Ternak	Massa Kotoran (Kg/Hari)	Kandungan Bahan Kering (%)	Produksi Biogas ($\text{m}^3/\text{Kg BK}$)
Sapi/Kerbau/Kuda	25-30	20	0,023-0,040
Kambing/Domba	1,13	26	0,040-0,059
Ayam	0,18	28	0,065-0,016
Itik	0,34	36	0,065-0,016
Babi	7	9	0,040-0,059
Manusia	0,025-0,40	23	0,020-0,028

Jumlah produksi kotoran hewan ternak per hari dapat dihitung dengan mengacu persamaan 2.9

$$\text{Produksi Kotoran} = n \times \text{Jumlah kotoran Kg/Hari} \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

n = Jumlah ternak (ekor)

Setelah memperoleh jumlah produksi kotoran hewan ternak, langkah selanjutnya adalah menghitung total kandungan bahan kering dari setiap jenis hewan ternak. Total kandungan bahan kering dapat di hitung dengan mengacu pada persamaan 3.0

$$\text{Total KBK} = \text{Produksi Kotoran} \times \text{KBK Ternak} \dots\dots\dots(3.0)$$

Dimana :

KBK = Kandungan bahan kering (kg.BK)

Setelah mendapatkan total kandungan bahan kering setiap jenis hewan ternak, maka potensi biogas dapat di hitung dengan mengacu pada persamaan 3.1

$$\text{Potensi Bg} = \text{Total KBK} \times \text{Bg Ternak} \dots\dots\dots(3.1)$$

Dimana:

Potensi Biogas = Potensi Biogas (m^3)

Bg Ternak = Biogas yang dihasilkan ternak (m^3 /kg.BK)

KBK = Kandungan bahan kering (kg,BK)

Lalu langkah terakhir adalah mengkonversi potensi biogas menjadi energi listrik. Konversi biogas serta penggunaan lainnya dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Konversi Biogas dan Penggunaannya

(Santoso et al., 2019)

Penggunaan 1 m³ Biogas

Penerangan	Lampu 60 – 100 W selama 6 jam
Memasak	Memasak 3 jenis makan untuk 5 – 6 orang
Tenaga	Menjalankan motor 1 hp selama 2 jam
Listrik	4,7 kWh energi listrik

Berdasarkan Tabel 2.1. Potensi energi listrik yang dihasilkan dari biogas yang berasal dari kotoran hewan ternak dapat dihitung dengan mengacu pada persamaan 3.2

$$E = \text{Potensi Bg} \times 4,7 \text{ kWh} \dots \dots \dots (3.2)$$

Dimana :

Potensi Bg = Potensi Biogas (m³)

Untuk menghitung densitas energi biogas dapat menggunakan persamaan 3.3

$$\text{Densitas Energi} = \frac{\text{Energi Biogas}}{\text{Luas lahan Biogas}} \dots \dots \dots (3.3)$$

2.4.1 Mekanisme PLTBg

Biogas adalah gas yang mudah terbakar yang di hasilkan dari proses fermentasi bahan organik oleh bakteri – bakteri anaerob (bakteri yang hidup dalam kondisi tanpa oksigen yang ada dalam udara). Proses fermentasi ini sebetulnya terjadi secara alamiah tetapi membutuhkan waktu yang relative lama. Biogas berbeda dengan bahan bakar fosil (minyak bumi dan batu bara) atau bahan bakar yang tidak dapat di perbaharui. Biogas sendiri merupakan gabungan dari gas metana (CH₄) gas CO₂ dan Gas Lainnya. Berikut komponen-komponen yang terkandung dalam penyusunan biogas ada pada **Tabel 2.3** (Tengker et al., 2021).

Tabel 2.3 Unsur Penyusun Biogas

Komponen	Konsentrasi (%)
Metana (CH ₄)	55 – 75

Karbon Dioksida (CO ₂)	25 – 45
Nitrogen (N ₂)	0 – 0,3
Hidrogen (H)	1 – 5
Hidrogen Sulfida (H ₂ S)	0 – 3
Oksigen (O ₂)	0,1 – 05

Proses pembentukan biogas dari pengolahan bahan organik dengan bantuan mikroorganisme anaerob hingga menjadi biogas itu ada 3 yaitu proses hidrolisis, pengasaman dan metanogenesis.

1. Hidrolisis

Hidrolisis merupakan suatu proses yang utama dan tahap awal pada proses fermentasi. Tahap ini merupakan penguraian bahan organik dengan senyawa kompleks yang memiliki sifat mudah larut seperti lemak, protein dan karbohidrat, menjadi senyawa sederhana. Hidrolisis juga dapat diartikan sebagai struktur dari bentuk polimer menjadi bentuk monomer. Senyawa yang dihasilkan dari proses hidrolisis diantaranya senyawa asam organik, glukosa, etanol, CO₂ dan senyawa hidrokarbon lainnya. Senyawa ini akan dimanfaatkan mikroorganisme sebagai sumber energi untuk melakukan aktivitas fermentasi.

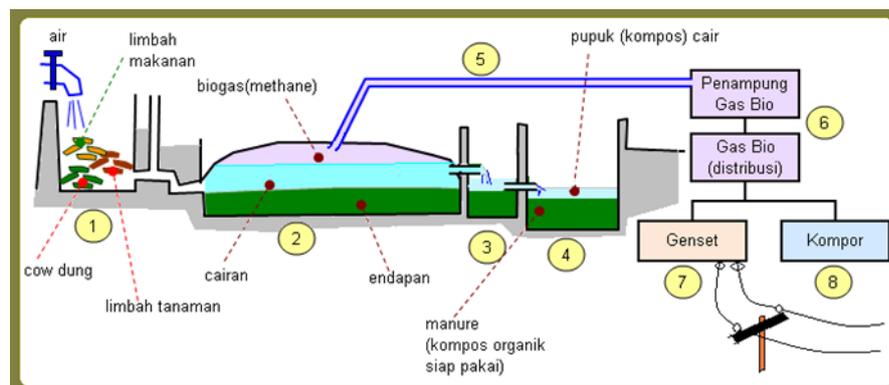
2. Pengasaman

Proses berikutnya yaitu pengasaman. Pada tahap ini senyawa-senyawa yang terbentuk pada tahap hidrolisis akan dijadikan sumber energi bagi mikroorganisme untuk tahap selanjutnya yaitu pengasaman. Pada tahap ini juga bakteri akan menghasilkan senyawa-senyawa asam organik seperti asam asetat, asam propional, asam butirat dan asam laktat beserta produk sampingan berupa alkohol, CO₂, Hidrogen dan zat ammonia.

3. Metanogenesis

Tahap ketiga adalah proses metanogenesis pada tahap ini bakteri metanogen seperti methanococcus, methanosarcina dan methano bacterium akan mengubah produk lanjutan dari tahap pengasaman menjadi gas methane, karbondioksida dan air yang merupakan komponen penyusun biogas.

Pada dasarnya mekanisme kerja PLTBg yaitu gas yang di hasilkan mikrobakteri akibat adanya fermentasi dari bahan organik. Bahan organik ini nantinya dimasukan ke digester (ruang tertutup kedap udara) atau bak penampung sehingga akan terjadi proses pembusukan bahan organik yang menghasilkan output berupa biogas. Biogas yang terkumpul dalam digester disalurkan ke tabung penyimpanan gas atau langsung disalurkan ke genset melalui suatu pipa penyalur gas. Hasil dari biogas tersebut di konversi menjadi energi listrik dimana dalam 1 m³ setara dengan 4,7 kWh energi listrik Contoh pemanfaatan biogasnya dapat di lihat pada **Gambar 2.10** (Santoso et al., 2019).



Gambar 2.10 Pemanfaatan Biogas untuk menjadi Bahan Bakar Pembangkit

(Santoso et al., 2019)

2.5 Hybrid Inverter System

Hybrid inverter sistem adalah sebuah inverter tipe khusus yang dapat digunakan mengkonversi tegangan DC (Direct Current) menjadi tegangan AC

(Alternating Current) yang berasal dari pembangkit energi baru terbarukan. Untuk dimanfaatkan sesuai spesifikasi peralatan elektrik (120 atau 240 V AC, 50 atau 50 Hz) atau setara dengan Listrik dari PLN. *Hybrid* sistem ini juga dikenal sebagai dengan synchronous inverter dan perangkat ini tidak dapat bekerja dengan sendiri karena harus selalu terhubung dengan jaringan yang telah ada PLN *On grid* sistem (Pradana & Mubarak, 2018). sistem *hybrid* ini dibagi menjadi dua yaitu *On grid* dan *Off grid* sistem dimana :

1. *On grid* Sistem

On grid sistem yaitu sebuah sistem energi baru terbarukan yang tetap terhubung dengan jaringan listrik PLN. Dengan adanya sistem ini dapat mengurangi tagihan listrik dan apabila ada kelebihan daya yang di produksi pembangkit maka kelebihan daya tersebut dapat di distribusikan ke PLN dengan skema penjualan. Sistem ini juga bisa menggunakan baterai back up untuk menyimpan energi yang dihasilkan oleh pembangkit listrik.

2. *Off grid* Sistem

Off grid Sistem ini adalah sistem yang hanya menggunakan energi yang dihasilkan oleh sistem pembangkit sendiri. Sistem ini biasanya digunakan pada daerah yang belum dijangkau oleh listrik PLN.

2.6 *Homer Energy*

Homer Energy atau *Hybrid Optimization Mood for Energy Renewable* adalah sebuah perangkat lunak untuk pemodelan *microgrid* terkemuka di dunia. Perangkat lunak *microgrid Homer Energy* merupakan salah satu *tool* populer untuk mendesain sistem pembangkit listrik *hybrid* menggunakan energi baru terbarukan. Homer mensimulasikan dan mengoptimalkan sebuah sistem pembangkit listrik balik *stand*

alone atau *off grid* maupun *grid-connected* yang dapat terdiri dari kombinasi pembangkit listrik konvensional photovoltaic, biogas, mikrohidro, biomassa, generator (diesel/bensin), microturbine, turbin angin, fuel cell, baterai dan penyimpanan hydrogen, melayani beban listrik maupun termal (LLC, 2018).

Jadi Homer adalah sebuah model simulasi yang mensimulasikan sistem yang layak untuk semua kemungkinan kombinasi peralatan yang di pertimbangkan. pertimbangan tersebut bergantung pada bagaimana mengatur masalahnya, Homer dapat mensimulasikan ratusan atau bahkan ribuan sistem, hingga akhirnya dapat nilai optimal dan disajikan berdasarkan pengelompokan pembangkitnya.

Homer juga dapat mensimulasikan operasi sistem dengan menyediakan perhitungan energi balance untuk 8760 jam dalam setahun. Jika sistem mengandung baterai dan generator diesel atau bensin, Homer juga dapat memutuskan untuk setiap jam, apakah generator diesel beroperasi dan apakah baterai di isi atau dikosongkan, selanjutnya Homer menentukan Konfigurasi terbaik pada sistem lalu kemudian memperkirakan biaya instalasi dan operasi sistem selama masa operasinya (*life time cost*) seperti biaya awal, biaya penggantian komponen-komponen, biaya bahan bakar dan lain-lain.

Ketika melakukan simulasi pada Homer, Homer menentukan semua konfigurasi sistem yang mungkin, kemudian ditampilkan berurutan menurut *net present cost* - NPC atau disebut juga *life cycle cost* , jika analisa sensitivitas diperlukan, Homer akan mengulangi proses simulasi untuk setiap variable sensitivitas yang ditetapkan (Sheriff & Ross, 2003).

2.6.1 Prinsip Kerja Homer Energy

Prinsip bekerja pada *Homer Energy* yaitu berdasarkan pada 3 hal simulasi, optimasi dan analisa sensitivitas. Ketiga hal tersebut bekerja secara berumtun dan memiliki fungsi masing-masing, sehingga hasil yang didapat optimal.

2.6.2 Simulasi

Homer Energy dapat mensimulasikan konfigurasi perencanaan pembangkit listrik dengan beberapa kombinasi baik *on grid* maupun *off grid* dengan komponen antara lain photovoltaic, biogas, biomassa, *wind turbine*, *hydro*, *micro hydro*, *fuel generator*, *hydrogen*, *conventer*, baterai dan lain-lain. Digunakan untuk melayani beban AC maupun beban DC dan beban termal.

2.6.3 Optimasi

Proses sebuah optimasi dilakukan setelah proses simulasi dilakukan. Proses simulasi memodelkan dan merancang konfigurasi sistem secara khusus, maka proses optimasi dilakukan untuk menentukan kemungkinan teroptimal dalam konfigurasi sistem. Pada daftar hasil optimasi, Homer mengurutkan nilai NPC dari terendah hingga tertinggi. Sistem dikatakan optimal, apabila salah satu konfigurasi sistem menunjukkan NPC terendah untuk jangka waktu yang telah ditentukan, Homer mensimulasikan konfigurasi yang berbeda-beda, apabila konfigurasi sistem tidak layak, maka homer tidak menampilkan hasil optimasi sistem tersebut. Dalam proses optimasi tampilkan instrument kelayakan investasi seperti:

1. ROI

ROI atau *Return on Investmen* bisa juga diterjemahkan sebagai laba atas investasi. Dalam sebuah perhitungan ROI, nilai yang dicari adalah presentase keuntungan dari investasi berdasarkan laba keseluruhan dan biaya yang

dikeluarkan. Dengan begitu, bisa diketahui dengan jelas tingkat profitabilitas dari suatu investasi. Dari pengertian tersebut, dapat dikatakan bahwa ROI berguna untuk mengukur efisiensi dari suatu tindakan investasi. Dengan langkah yang terukur, setiap investasi yang dilakukan akan memiliki risiko kerugian yang minim. Potensi keuntungan yang akan diperoleh pun dapat diperkirakan. Perhitungan ROI juga dapat membantu mempertimbangkan kembali setiap rencana investasi pada suatu asset. Jika nilainya positif, maka itu pertanda baik yang artinya investasi yang direncanakan bias memberikan laba atau seminimalnya dapat mengembalikan biaya investasi yang telah dikeluarkan. Semakin tinggi nilai hasil perhitungan yang di dapat maka berpotensi semakin baik investasi tersebut. Tetapi jika hasil perhitungannya negative, sebaiknya jangan meneruskan investasi tersebut karena akan menimbulkan kerugian, rumus untuk menentukan ROI menggunakan Persamaan 2.9 :

$$ROI = \frac{(Pendapatan\ Investasi - Biaya\ Investasi)}{Biaya\ Investasi} \times 100\% \dots \dots \dots (2.9)$$

2. IRR

IRR atau *Internal rate of return* merupakan sebuah indikator tingkat efisiensi dari suatu investasi. Suatu proyek/investasi dapat dilakukan apabila laju pengembaliannya (*rate of return*) lebih besar dari pada laju pengembalian apabila melakukan investasi ditempat lain (bunga deposito bank, reksadana, tempat dan lain-lain). IRR digunakann untuk menentukan apakah investasi tersebut dilaksanakan atau tidak, untuk mengetahui hal itu biasanya digunakan acuan bahwa investasi yang dilakukan harus lebih tinggi dari *minimum acceptable rate of return* atau *minimum attractive rate of return*.

Minimum acceptable rate of return merupakan laju pengembalian minimum dari suatu investasi yang berani dilakukan oleh seorang investor. IRR merupakan suku bunga yang akan menjadikan jumlah nilai sekarang dari penerimaan yang diharapkan diterima (*present value of future processed*) dengan jumlah nilai sekarang dari pengeluaran untuk investasi, besarnya nilai sekarang dihitung dengan menggunakan persamaan 2.10 :

$$IRR = NPV = \sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 \dots \dots \dots (2.10)$$

Dimana :

NPV = *Net Present Value* (rupiah)

C_t = Arus kas per tahun pada periode 1

C₀ = Nilai Investasi awal pada tahun ke 0 (rupiah)

r = suku bunga atau discount rate (%)

Di dalam proses sebuah optimasi juga terdapat sistem konfigurasi komponen yang di gunakan, jumlah dan kapasitas komponen serta strategi pengisian baterai yang digunakan seperti :

- a) Kapasitas daya PV
- b) Jumlah turbin angin yang digunakan
- c) Kapasitas daya turbin air
- d) Kapasitas daya generator
- e) Jumlah baterai yang digunakan
- f) Kapasitas daya converter AC-DC
- g) Kapasitas daya elektrolizer
- h) Kapasitas daya dari tangka hydrogen
- i) Strategi pengisian baterai

2.7 *Net Present Cost (NPC)*

NPC (*Net Present Cost*) adalah semua biaya yang akan digunakan dalam sebuah proyek pembangunan komponen baik pemasangan maupun dalam pengoperasian suatu proyek. NPC dapat diketahui dengan persamaan 2.11 :

$$NPC = \text{Capital Cost} + \text{Replacment Cost} + \text{O\&M Cost} - \text{Salvage} \dots \dots \dots (2.11)$$

Dimana :

Capital Cost = Biaya komponen

Replacement Cost = biaya ganti komponen

O&M Cost = biaya operasional dan perawatan

Salvage = biaya yang tersisa dari komponen

2.8 *Cost of Energy (COE)*

COE (*Cost of Energy*) merupakan biaya yang dikeluarkan untuk menghasilkan energi listrik per 1 kWh. COE dapat diketahui dengan membagi biaya tahunan dengan produksi energi tahunan oleh pembangkit *hybrid*. Nilai COE dapat diketahui dengan persamaan 2.12

$$COE = \frac{TAC}{\text{Etotsarved}} \dots \dots \dots (2.12)$$

Dimana :

TAC (*total annaualized cost*) = biaya total tahunan pembangkit *hybrid*
(satuan)

Etot *Served* = total energi tahunan untuk beban (kWh)