

BAB II

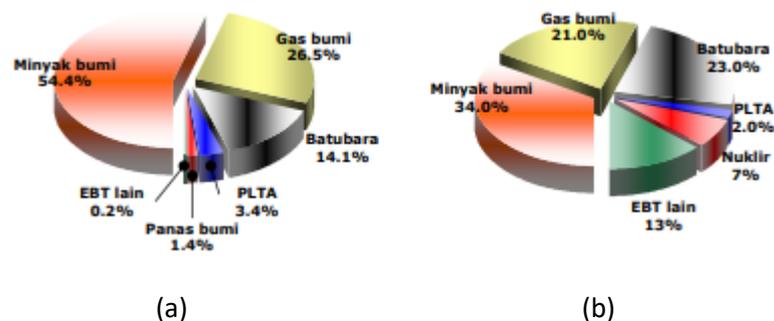
LANDASAN TEORI

2.1 Energi

Definisi energi adalah sesuatu yang bersifat abstrak yang sukar dibuktikan tetapi dapat dirasakan adanya, Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja.

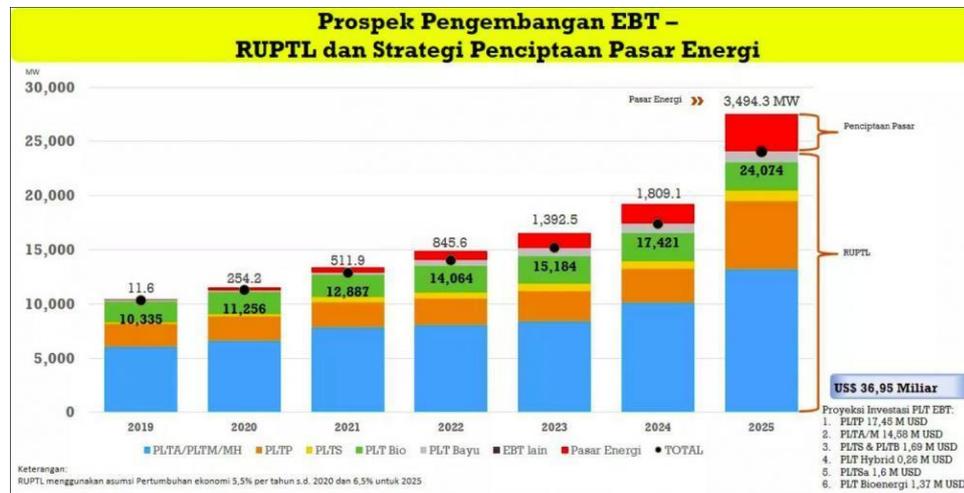
Kebutuhan energi di Indonesia khususnya dan di dunia pada umumnya terus meningkat karena pertambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi itu sendiri yang senantiasa meningkat, Sedangkan energi fosil yang selama ini merupakan sumber energi utama seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 2.1** gambar tersebut mengartikan kebutuhan energi di Indonesia dan di dunia, dari gambar tersebut bisa 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.

Ketersediaannya sangat terbatas dan terus mengalami deplesi (depletion: kehabisan, menipis), Proses alam memerlukan waktu yang sangat lama untuk dapat kembali menyediakan energi fosil ini.(Daryanto 2007)



Gambar 2. 1 Energi Mix di Indonesia dan Dunia tahun 2005-2025 (Daryanto 2007)

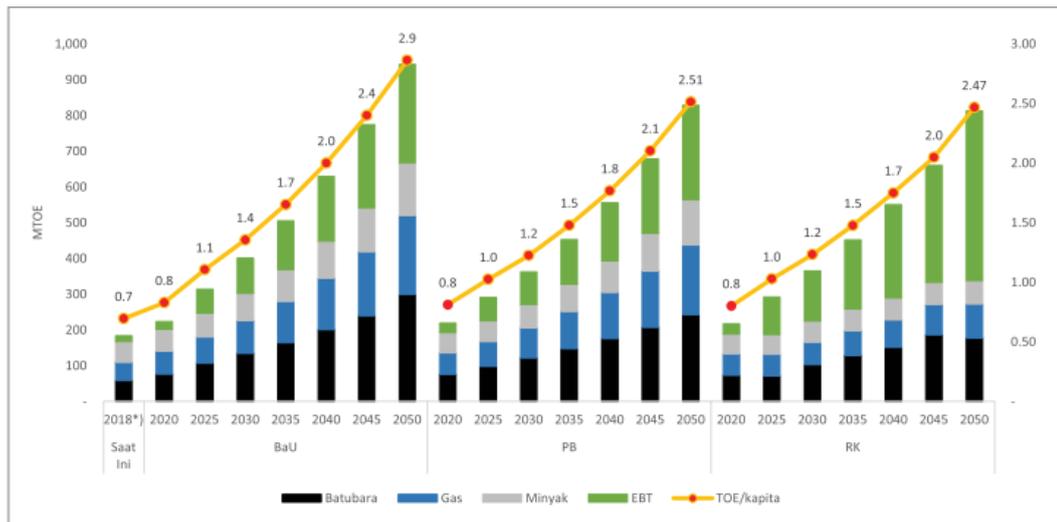
Pemerintah melalui kementerian ESDM mencanangkan rencana usaha penyediaan tenaga listrik (RUPTL) 2019-2025 seperti pada gambar 2.2



Gambar 2. 2 Rencana Usaha Penyediaan Tenaga Listrik (RUPTL) 2019 – 2025 Kementerian ESDM (SIARAN PERS ESDM NOMOR: 692.Pers/04/SJI/2019)

Ketahanan energi nasional (KEN) menargetkan 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 skenario 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 ketiga skenario tersebut. Proyeksi penyediaan energi primer per

kapita untuk ketiga skenario dapat dilihat 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

Berkurangnya produksi energi fosil terutama minyak bumi serta komitmen global dalam pengurangan emisi gas rumah kaca, mendorong Pemerintah 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 masih relatif tingginya harga produksi pembangkit berbasis EBT, sehingga sulit bersaing dengan pembangkit fosil terutama batubara. Selain itu, kurangnya dukungan industri dalam negeri terkait komponen pembangkit energi terbarukan serta masih

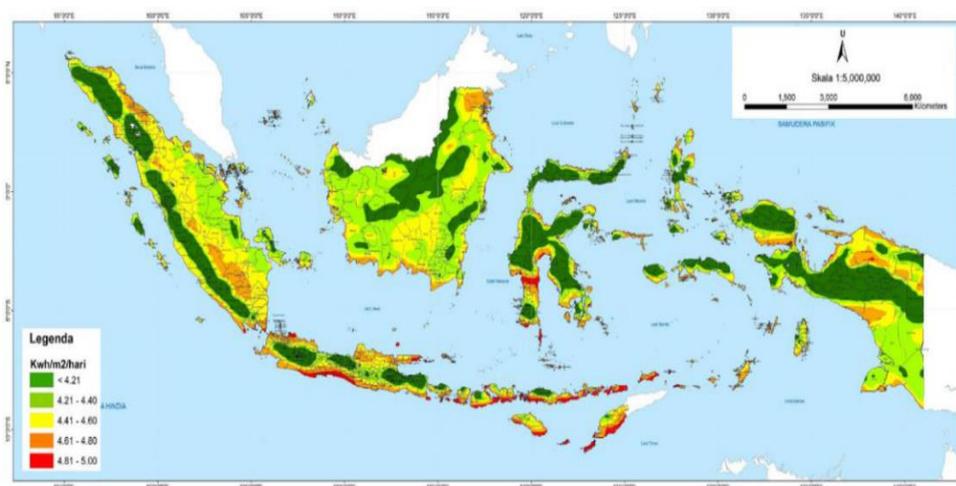
sulitnya mendapatkan pendanaan berbunga rendah, juga menjadi penyebab terhambatnya pengembangan energi terbarukan, untuk mempercepat pengembangan EBT, pemerintah telah menetapkan beberapa regulasi diantaranya :

1. Peraturan Presiden No. 4 Tahun 2016 (Pasal 14) 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 Tata 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. kementerian 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 barat Indonesia (4,5 kWh/m².hari) dengan variasi bulanan sekitar 10% dan Kawasan timur Indonesia 5,1 kWh/m².hari dengan validasi bulanan 9% serta rata-rata Indonesia 4,8 kWh/m².hari dengan validasi bulanan 9% 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**

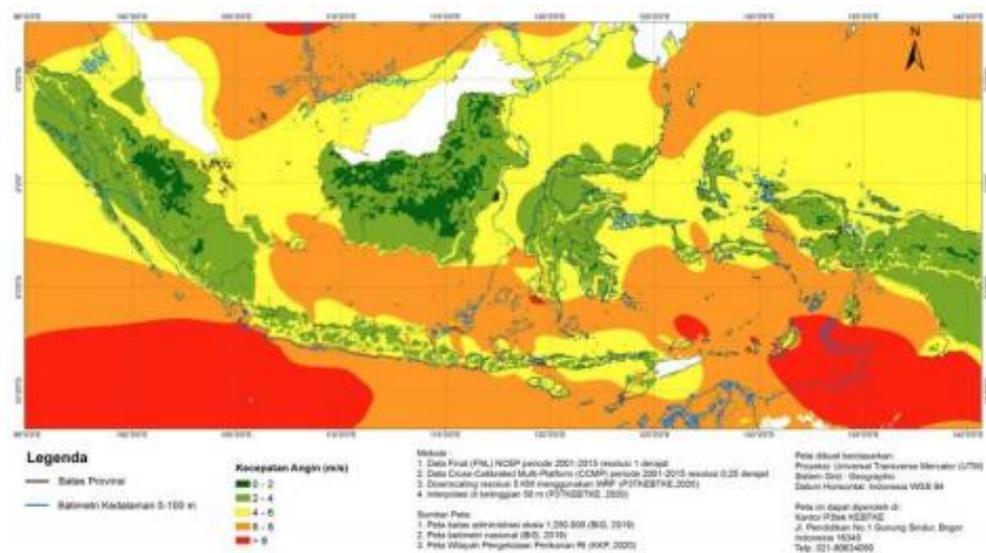


Gambar 2. 4 Peta potensi energi surya (P3TKEBTKE, 2

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 2.5 potensi pemanfaatan energi surya di wilayah pesisir selatan Jawa barat sangat tinggi bisa mencapai 5.00 kWh/m²/hari.

2.2.2 Potensi Energi Angin

Pemanfaatan potensi energi angin dengan kapasitas pada tahun 2025 yakni 255 MW, sementara itu sampai dengan 2020 baru terealisasi sebesar 135 MW, dengan demikian pengembangan potensi energi angin di Indonesia masih menjadi tantangan nasional, Badan Litbang ESDM melalui P3TKEBTKE telah mengembangkan metode perhitungan potensi energi angin dengan membuat peta potensi energi angin Indonesia resolusi 5 km di tahun 2016 **Gambar 2.5**



Gambar 2. 5 Peta distribusi kecepatan angin onshore dan offshore Indonesia (P3GL-KESDM, 2016)

Dalam pencitraan kecepatan angin bisa dilihat di peta tersebut menerangkan kecepatan angin melalui warna, warna hijau tua 0-2 m/s, hijau muda 2-4 m/s, kuning 4-5 m/s, oranye 6-8 m/s dan merah >8 m/s, Seperti dalam gambar 2.4 potensi angin di Indonesia terutama wilayah pesisir selatan Jawa barat mempunyai potensi angin yang cukup tinggi bisa mencapai lebih dari 8 m/s, yang berarti masuk dalam kelas 5.

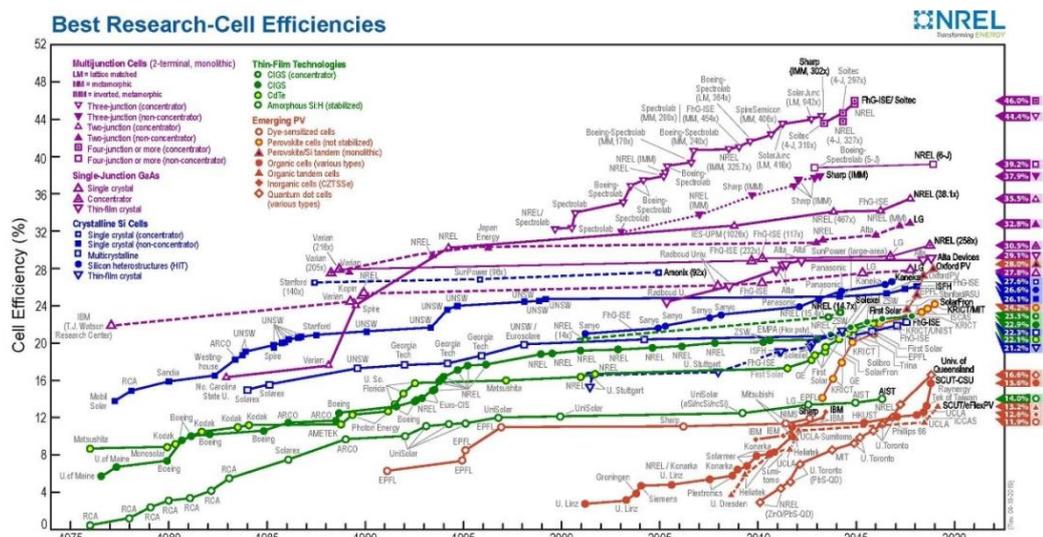
2.3 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

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

Sumber pembangkit listrik dari energi terbarukan, seperti sinar matahari (energi surya) tersedia melimpah dan hampir merata di seluruh wilayah Indonesia. Alat (device) yang mampu merubah energi surya menjadi energi 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.(Widianto et al., 2019).

Perkembangan PV dari tahun ke tahun itu cukup meningkat dari segi efisiensinya, dimana pengamatan itu dilakukan dari tahun 1975 sampai 2020 itu diamati oleh Laboratorium Energi Terbarukan Nasional. Perkembangan PV dari

tahun 1975 itu mengalami kemajuan yang signifikan. Dimulai dari PV yang berjenis film tipis yang memiliki efisiensi kurang dari 10%, kemudian berkembang menjadi PV yang dengan tipe Crystalline yang memiliki efisiensi sekitar 15% di tahun 1977, dan 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. 6 Perkembangan Efisiensi PV dari tahun 1975 sampai 2020 (Hiron et al. 2021)

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

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

Dimana:

W_p = 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 semikonduktor 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 array sebagai keluaran dari sel surya menggunakan persamaan 2.2 :

$$P_{pv} = f_{pv} Y_{pv} PSH \quad (2.2)$$

Dimana :

P_{pv} = Keluaran pada PV (kWh/d)

f_{pv} = *Pv derating factor* (0,7-0,85)

Y_{pv} = Daya yang diijinkan dari PV array (kW)

PSH = Peak Sun Hour (jam)

Untuk menghitung densitas daya itu dengan persamaan 2.3

$$\rho = \frac{\text{rata-rata daya}}{\text{luas lahan}} \quad (2.3)$$

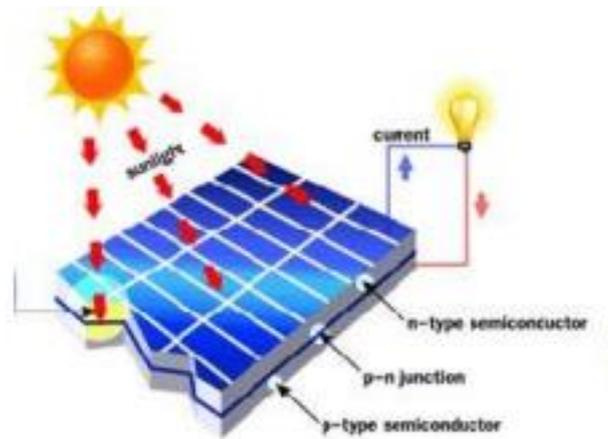
2.3.1 Mekanisme Kerja Panel Surya

Modul photovoltaic atau solar 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.

Mekanisme konversi energi cahaya terjadi akibat adanya perpindahan elektron bebas di dalam suatu atom. Sel surya umumnya menggunakan bahan semikonduktor sebagai penghasil elektron bebas. Material semikonduktor adalah padatan berupa logam, yang konduktivitas elektriknya ditentukan oleh elektron valensinya. Material semikonduktor konduktivitasnya akan meningkat secara signifikan saat foton dari sumber cahaya membentuk suatu elektron valensi dari atom semikonduktor, akan mengakibatkan suatu yang cukup besar untuk memisahkan elektron tersebut terlepas dari struktur atomnya.

Elektron yang terlepas bermuatan negatif menjadi bebas bergerak di dalam bidang kristal dan berada pada daerah peta konduksi dari material semikonduktor. Hilangnya elektron mengakibatkan suatu kekosongan pada struktur kristal yang disebut dengan "*hole*" dengan muatan positif. Daerah semikonduktor dengan elektron bebas dan bersifat negatif bertindak sebagai donor elektron. Daerah ini disebut *negative type (n-type)*. Sedangkan daerah semikonduktor semikonduktor dengan hole, bersifat positif bertindak sebagai penerima (*acceptor*) elektron. Daerah ini disebut *positive type (p-type)*. Ikatan dari kedua sisi positif dan negatif menghasilkan energi listrik internal yang akan mendorong elektron bebas dan *hole* untuk bergerak ke arah berlawanan. Elektron akan bergerak menjauhi sisi negatif, sedangkan *hole* bergerak menjauhi sisi positif. Ketika p-n *junction* dihubungkan dengan beban maka tercipta sebuah arus listrik.



Gambar 2. 7 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

$$\tau\alpha G_T = \eta_c G_T + U_L(T_c - T_\alpha) \quad (2.4)$$

Dimana :

τ = Transmittansi matahari dari setiap penutup atas array PV [%]

α = Penyerapan solar dari array PV [%]

G_T = Radiasi matahari terhubung array PV [kW/m^2]

η_c = Efisiensi konversi listrik dari array PV [%]

U_L = Koefisien perpindahan panas ke sekitarnya [$\text{kW/m}^2\text{°C}$]

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 dikhawatirkan adalah memastikan untuk menyingkirkan segala hal yang dapat menghalangi sinar matahari ke panel surya tersebut. (Septiadi et al., 2009)

Unit satuan Watt-peak adalah satuan daya (Watt) yang dapat dibangkitkan oleh module photovoltaic dalam keadaan standar uji (*Standard Test Condition* STC), atau jumlah energi yang diproduksi di bawah kondisi standar dari pemancaran 1 kW/m^2 dan temperatur panel sebesar 25° C . Dalam HOMER ukuran dari PV array selalu ditentukan pada bagian kapasitas yang diizinkan.

2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu/Angin

Pembangkit listrik tenaga bayu merupakan pembangkit energi listrik yang mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik oleh turbin dan diubah lagi menjadi energi listrik oleh generator dengan memanfaatkan kecepatan angin yang menggerakkan turbin. (Hidayanti Diana, 2019)

Pembangkit listrik tenaga bayu/angin ini terdiri dari empat bagian yang terdiri dari rotor, transmisi, elektrik dan, tower. Bagian rotor terdiri dari baling-baling, umumnya berbentuk seperti baling-baling pesawat. Dengan bentuk seperti ini diharapkan energi angin yang tertangkap bisa maksimal agar bobotnya lebih ringan. Baling-baling ini biasanya dibuat dari *fiberglass* atau material komposit.

Homer menghitung kecepatan angin menggunakan persamaan 2.5 :

$$(P) = \frac{1}{2} \times \rho \times V^3 \times A \times \eta \quad (2.5)$$

P = Daya (watt)

ρ = Massa jenis angin (1.225 kg/m^3)

V = Kecepatan angin (m/s)

A = Luas penampang ($\text{m}^2 = \frac{1}{4} \times \pi \times D$)

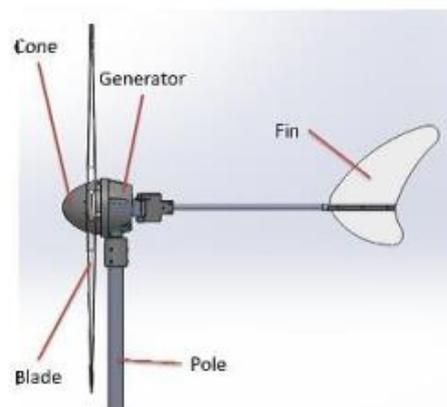
η = Efisiensi (%)

2.4.1 Mekanisme Turbin Angin

Sebuah sistem *PLTB* (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu) terbuat dari penggabungan beberapa turbin angin di satu kawasan yang sering di sebut *kebun angin* lalu menghasilkan listrik ke unit penyalur listrik. Listrik dialirkan melalui kabel transmisi dan didistribusikan ke konsumen. Turbin angin memiliki dua sampai lima bilah baling-baling, Jenis ini umumnya digunakan di banyak negara pengguna energi angin. Mekanisme pembangkitan listrik oleh turbin angin secara berurutan yang pertama Angin akan memutar baling baling, dan baling baling akan memutar sebuah poros yang dihubungkan dengan pembangkit (generator) hingga menghasilkan listrik setelah itu energi listrik akan menuju transformer untuk menaikkan tegangan yang kemudian didistribusikan ke konsumen. Turbin untuk pemakaian komersial berukuran 50-750 kilowatt.

2.4.2 Komponen Turbin Angin

Komponen turbin angin untuk pemakaian komersial pada umumnya seperti dalam **Gambar 2.8**



Gambar 2. 8 Komponen Turbin Angin (Bachtiar and Hayyatul 2018)

Pada turbin angin disusun atas beberapa bagian komponen seperti pada **Gambar 2.8** di atas. Berikut ini merupakan komponen dari turbin angin :

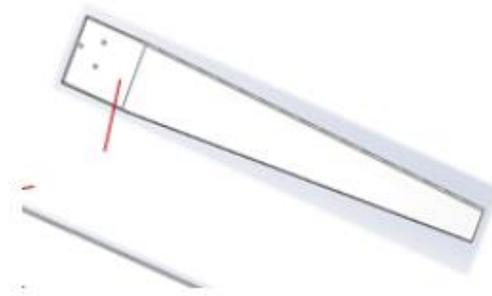
1. Sudu/*blade*

Sudu/*blade* adalah bagian rotor dari turbin angin. Rotor ini menerima energi kinetik dari angin dan dirubah ke dalam energi gerak putar.

Menggunakan prinsip aerodinamika seperti halnya pesawat. *Blade* memiliki 3 jenis berdasarkan desainnya, berikut adalah jenis-jenis dari *blade* :

a. Taper

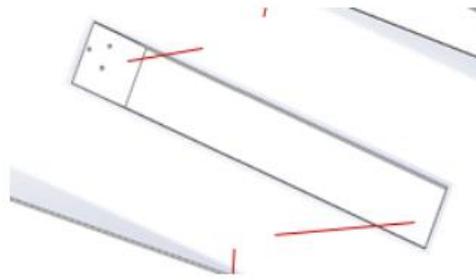
Merupakan *blade* yang dari pangkalnya akan mengecil dari ujung seperti pada **Gambar 2.9**



Gambar 2. 9 Blade Taper

b. Taper less

Merupakan *blade* yang dari pangkal sampai ke ujung memiliki ukuran yang sama seperti pada **Gambar 2.10**

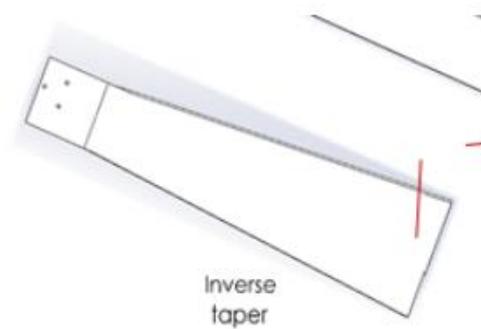


Gambar 2. 10 Blade Taper Less

c. Inverse Taper

Merupakan *blade* yang ujungnya membesar seperti pada **Gambar**

2.11



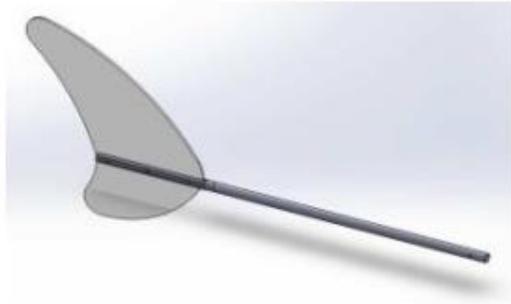
Gambar 2. 11 Inverse Taper

2. Tower

Tower atau tiang penyangga adalah bagian struktur dari turbin angin horizontal yang memiliki fungsi sebagai struktur utama penopang dari komponen system serangkai sudu, poros, dan generator.

3. Ekor

Ekor pada turbin angin berguna untuk mengubah posisi generator dan turbin agar sesuai dengan arah datangnya angin, bentuk ekor pada turbin angin ini seperti pada **Gambar 2.12**



Gambar 2. 12 Ekor

4. Generator

Generator adalah salah satu komponen terpenting dalam pembuatan system turbin angin. Generator ini dapat mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Bentuk generator seperti pada **Gambar 2.13**



Gambar 2. 13 Generator

2.5 Hybride Inverter System

Hybrid Inverter System adalah inverter tipe khusus yang dapat digunakan untuk mengkonversi tegangan DC (direct current) menjadi tegangan AC (Alternating Current) yang berasal dari energi terbarukan, Hybrid inverter system juga dikenal dengan synchronous inverter dan perangkat ini tidak dapat bekerja dengan sendiri karena harus terhubung dengan jaringan yang telah ada (PLN) On grid system.(Pradana & Mubarak, 2018)

a. *On grid system*

On grid system adalah sistem yang menggunakan energi baru dari pembangkit yang tetap terhubung dengan jaringan PLN. Dengan adanya sistem ini dapat mengurangi tagihan listrik dan apabila ada kelebihan daya yang diproduksi oleh pembangkit maka kelebihan daya tersebut dapat didistribusikan ke PLN dengan skema penjualan.

b. *Off grid system*

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

2.6 Homer (Hybrid Optimization Model for Energy Renewable)

HOMER *Energy* adalah perusahaan perangkat lunak pemodelan microgrid terkemuka di dunia. Perangkat lunak microgrid HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewables*). Salah satu tool populer untuk desain sistem PLH menggunakan energi terbarukan. HOMER mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik baik stand-alone (*off grid*) maupun grid-connected yang dapat terdiri dari kombinasi pembangkit listrik konvensional turbin angin, photovoltaic, mikrohidro, biomassa, generator (diesel/bensin), microturbine, fuel-cell, baterai, dan penyimpanan hidrogen, melayani beban listrik maupun termal.(LLC 2018)

Intinya, HOMER adalah model simulasi yang mensimulasikan sistem yang layak untuk semua kemungkinan kombinasi peralatan yang dipertimbangkan pertimbangannya. Bergantung pada bagaimana mengatur masalah, HOMER dapat

mensimulasikan ratusan atau bahkan ribuan sistem hingga akhirnya didapat nilai optimal dan disajikan berdasarkan pengelompokan pembangkitnya

HOMER mensimulasikan operasi sistem dengan menyediakan perhitungan *energy balance* untuk setiap 8760 jam dalam setahun. Jika sistem mengandung baterai dan generator diesel atau bensin, HOMER juga dapat memutuskan, untuk setiap jam, apakah generator diesel atau bensin beroperasi dan apakah baterai diisi atau dikosongkan. Selanjutnya HOMER menentukan konfigurasi terbaik sistem dan kemudian memperkirakan biaya instalasi dan operasi sistem selama masa operasinya (*life time costs*) seperti biaya awal, biaya penggantian komponen-komponen, biaya bahan bakar, dan lain-lain.

Saat melakukan simulasi, HOMER menentukan semua konfigurasi sistem yang mungkin, kemudian ditampilkan berurutan menurut *net presents costs* - NPC (atau disebut juga *life cycle costs*), Jika analisa sensitivitas diperlukan, HOMER akan mengulangi proses simulasi untuk setiap variabel sensitivitas yang ditetapkan. (F. Sheriff, D.Turcotte 2003)

2.6.1 Prinsip Kerja Homer

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

2.6.2 Simulasi

Homer dapat mensimulasikan konfigurasi perencanaan pembangkit listrik dengan beberapa kombinasi baik *on grid* maupun *off grid* dengan komponen antara lain *photovoltaic*, *wind turbine*, *hydro*, *micro hydro*, *fuel generator*, *hidrogen*

converter, baterai, dll. Digunakan untuk melayani beban AC maupun DC dan beban termal.

2.6.3 Optimasi

Proses 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 instrumen kelayakan investasi seperti :

1. ROI

ROI adalah singkatan dari Return on Investment atau bisa diterjemahkan sebagai laba atas investasi. Dalam penghitungan *ROI*, nilai yang dicari adalah persentase 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. Penghitungan *ROI* dapat membantu untuk mempertimbangkan kembali rencana investasi suatu aset. Jika nilainya positif, maka itu merupakan pertanda baik. Artinya, investasi yang direncanakan bisa memberikan laba atau setidaknya

mengembalikan biaya investasi yang telah dikeluarkan. Semakin tinggi nilai hasil perhitungan yang didapat, semakin baik. Investasi tersebut berpotensi sangat baik. Sementara jika hasil perhitungannya negatif, sebaiknya jangan meneruskan investasi tersebut karena akan menimbulkan kerugian, rumus untuk menentukan *ROI* menggunakan persamaan 2.6 :

$$ROI = \frac{(\text{Pendapatan Investasi} - \text{Biaya Investasi})}{\text{Biaya Investasi}} \times 100\% \quad (2.6)$$

2. *IRR*

IRR berasal dari bahasa Inggris internal rate of return disingkat *IRR* yang merupakan indikator tingkat efisiensi dari suatu investasi. Suatu proyek/investasi dapat dilakukan apabila laju pengembaliannya (rate of return) lebih besar daripada laju pengembalian apabila melakukan investasi di tempat lain (bunga deposito bank, reksadana, tempat dan lain-lain). *IRR* digunakan dalam menentukan apakah investasi dilaksanakan atau tidak, untuk 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 adalah 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 proceed) dengan jumlah nilai sekarang dari pengeluaran untuk investasi, besarnya nilai sekarang dihitung dengan menggunakan persamaan 2.7 :

$$IRR = NPV = \sum_{t=1}^N \frac{C_t}{(1+r)^t} - C_0 \quad (2.7)$$

Dimana :

NPV = Net Present Value (rupiah)

- C_t = Arus kas per tahun pada periode t
 C₀ = Nilai investasi awal pada tahun ke 0 (rupiah)
 r = suku bunga atau discount rate (%)

Didalam proses optimasi juga terdapat sistem konfigurasi komponen apa saja yang akan digunakan, jumlah dan kapasitas komponen, dan strategi pengisian baterai yang digunakan seperti :

1. Kapasitas daya PV
2. Jumlah turbin angin yang digunakan
3. Kapasitas daya turbin air
4. Kapasitas daya generator
5. Jumlah baterai yang digunakan
6. Kapasitas daya konverter AC-DC
7. Kapasitas daya elektrolizer
8. Kapasitas daya dari tangki hidrogen
9. Strategi pengisian baterai

2.7 Net Present Cost (NPC)

Net present cost (NPC) adalah semua biaya yang digunakan dalam proyek pembangunan komponen baik pemasangan maupun dalam pengoprasian suatu proyek. *Net present cost* dapat diketahui dengan persamaan 2.8.

$$NPC = \text{Capital Cost} + \text{Replacement Cost} + \text{O\&M Cost} - \text{Salvage} \quad (2.8)$$

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)

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 hibrid. Nilai COE dapat diketahui dengan persamaan 2.9

$$\text{COE} = \frac{TAC}{E_{\text{total served}}} \quad (2.9)$$

Dimana :

TAC (*total annualized cost*)= biaya total tahunan pembangkit hibrid
(satuan)
E_{total served} = total energi tahunan untuk beban (kWh)