



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Defiisi Energi

Energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja. Dalam Hukum Kekekalan Energi yaitu Energi dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk lain ( Konversi Energi ), dan energi tidak bisa diciptakan ataupun dimusnahkan. Maka dari itu energi hanya bisa berpindah atau berubah bentuk. Energi dapat dibedakan menjadi sumber energi terbarukan (*Renewable Energy*) dan sumber energi tak terbarukan (*Non-Renewable Energy*). Untuk kali ini saya ingin menjabarkan tentang sumber energi terbarukan.

Krisis energi adalah masa ketika terjadi kekurangan dalam persediaan sumber daya energi dalam kebutuhan energi yang meningkat. Namun semakin berganti zaman dan tahun energi yang sangat diandalkan dari dulu hingga sekarang adalah sumber daya energi tak terbarukan (*Non-Renewable Energy*) seperti batu bara, minyak, dan gas bumi, karena energi ini dapat beroperasi dan dioptimalkan dengan batas waktu yang tidak ditentukan ( kapan saja ) dan membangkitkan energi listrik dengan jumlah yang besar dibandingkan membangkitkan energi listrik dengan energi terbarukan. Sehingga pemakaian energi tak terbarukan semakin meningkat menyebabkan habisnya energi fosil di dalam bumi, maka kita tidak bisa berharap lagi di masa depan dengan energi tak terbarukan (*Non-Renewable Energy*) kecuali berharap dengan energi terbarukan (*Renewable Energy*) yang memberikan energi tak terbatas melimpah di alam dan energi ini sangat ramah lingkungan.[1]

##### 2.1.1 Energi Tak Terbarukan/Konvensional

Energi tak terbarukan/konvensional adalah energi yang diperoleh dari sumber daya alam yang waktu pembentukannya sampai jutaan tahun. Dikatakan tak terbarukan karena, apabila sejumlah sumbernya dieksploitasikan, maka untuk mengganti sumber sejenis dengan jumlah sama, baru mungkin atau belum pasti akan terjadi jutaan tahun yang akan datang. Hal ini karena, disamping waktu terbentuknya yang sangat lama, cara terbentuknya lingkungan



tempat terkumpul bahan dasar sumber energi ini pun tergantung dari proses dan keadaan geologi saat itu. Contoh dari Energi tak terbarukan yang sangat dikenal, yaitu minyak bumi. Dari cara terbentuknya, minyak bumi atau minyak mentah merupakan senyawa hidrokarbon yang berasal dari sisa-sisa kehidupan purbakala (fosil), baik berupa hewan, maupun tumbuhan. Adapun berbagai jenis energi tak terbarukan diantaranya :

1) Sumber energi dari hasil fosil

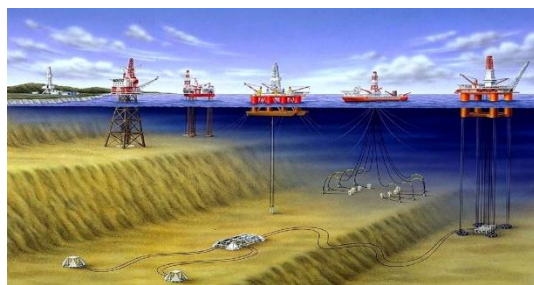


**Gambar 2.1** Sumber Energi Hasil Fosil

(Sumber : <http://www.cakmat.com/2017/08/15HariCeritaEnergiDay6.html>)

Sumber energi yang satu ini sebenarnya masih dapat diperbaharui lagi, namun membutuhkan waktu sampai ratusan bahkan jutaan tahun lamanya. Sumber energi yang satu ini tak lain berasal dari timbunan makhluk hidup yang telah mati lalu terkubur di bawah tanah sampai jutaan tahun, adapun contohnya adalah batu bara dan minyak bumi.

2) Minyak mentah



**Gambar 2.2** Sumber Energi Minyak Mentah

(Sumber : <http://www.cakmat.com/2017/08/15HariCeritaEnergiDay6.html>)



Sumber energi tak terbarukan berikutnya adalah minyak mentah. Minyak mentah adalah sumber daya yang terbentuk dalam bentuk cair antara lapisan kerak bumi. Ini dikarenakan minyak mentah diambil dengan cara melakukan pengeboran jauh dalam tanah dan memompa keluar cairan. Yang kemudian cairan tersebut disempurnakan dan digunakan untuk membuat berbagai macam produk. Negara penghasil minyak bumi terbesar adalah Rusia, Amerika, Arab Saudi dan masih banyak lagi.

### 3) Gas



**Gambar 2.3** Sumber Energi Hasil Gas

(Sumber : <http://www.cakmat.com/2017/08/15HariCeritaEnergiDay6.html>)

Sama halnya dengan minyak mentah gas juga terdapat di bawah kerak bumi dan untuk mendapatkannya harus dibor dan dipompa keluar. Metana dan etana merupakan jenis gas paling umum yang seringkali diperoleh dari proses ini.

### 4) Bahan bakar nuklir



**Gambar 2.4** Sumber Energi Nuklir

(Sumber : <http://www.cakmat.com/2017/08/15HariCeritaEnergiDay6.html>)



Bahan bakar nuklir diperoleh melalui penambangan dan pemurnian bijih uranium. Uranium sendiri merupakan unsur alami yang ada di dalam inti bumi. Jika dibandingkan dengan sumber daya yang tidak bisa diperbarui lainnya bahan bakar nuklir adalah yang paling bersih.[2]

### 2.1.2 Energi Terbarukan

Energi terbarukan didefinisikan sebagai energi yang dapat diperoleh ulang (terbarukan) seperti sinar matahari dan angin. Sumber energi terbarukan adalah sumber energi ramah lingkungan yang tidak mencemari lingkungan dan tidak memberikan kontribusi terhadap perubahan iklim dan pemanasan global seperti pada sumber-sumber tradisional lain. Adapun jenis-jenis energi terbarukan yaitu :

#### 1) Energi Surya



**Gambar 2.5** Energi Surya

(Sumber : <https://elektro-trunoyo.blogspot.com/2015/04/macam-macam-energi-tebarukan.html>)

Energi surya atau matahari adalah sumber energi paling kuat dan paling besar persediaanya. Sinar matahari dapat digunakan untuk pencahayaan, pembangkit listrik, pemanas air, dan berbagai proses industri. Matahari bisa digunakan untuk menghasilkan listrik dengan bantuan panel surya yang dapat mengolah energi panas matahari menjadi listrik. Tapi, energi listrik menjadi tergantung dengan keadaan cuaca.



## 2) Energi Angin



**Gambar 2.6** Energi Angin

(Sumber : <https://elektro-trunoyo.blogspot.com/2015/04/macam-macam-energi-tebarukan.html>)

Angin adalah gerakan udara yang terjadi ketika terdapat udara hangat dan udara dingin. Energi angin telah digunakan selama berabad-abad untuk kapal layar dan kincir angin untuk menggiling gandum. Saat ini, energi angin digunakan sebagai pembangkit listrik dengan turbin angin. Energi angin sangat tergantung dengan keadaan angin.

## 3) *Hydropower*



**Gambar 2.7** Energi *Hydropower*

(Sumber : <https://elektro-trunoyo.blogspot.com/2015/04/macam-macam-energi-tebarukan.html>)

Air yang mengalir dari hulu ke hilir. Energi *hydropower* sangat bergantung dengan curah hujan. Seperti yang kita ketahui, panas matahari menyebabkan air di danau dan lautan menguap dan membentuk awan. Air kemudian jatuh kembali ke bumi sebagai hujan atau salju, dan mengalir ke sungai dan sungai yang mengalir kembali ke laut. Air yang mengalir ini dapat digunakan untuk



memutar turbin yang mendorong proses mekanis untuk memutar generator yang dapat menghasilkan listrik.

#### 4) Energi *Biomassa*



Gambar 2.8 Energi *Biomassa*

(Sumber : <https://elektro-trunoyo.blogspot.com/2015/04/macam-macam-energi-tebarukan.html>)

Kayu masih merupakan sumber yang paling umum dari energi *biomassa*, tetapi sumber-sumber lain dari energi *biomassa* meliputi tanaman pangan, rumput,, limbah pertanian dan kehutanan, residu, komponen organik dari limbah kota dan industri, bahkan gas metana dari tempat pembuangan sampah. *Biomassa* dapat digunakan untuk menghasilkan listrik, sebagai bahan bakar untuk transportasi dan lain-lain. Namun, tentu *biomassa* akan menghasilkan energi listrik yang berbau tidak sedap.

#### 5) Energi Gelombang Air Laut



Gambar 2.9 Energi Gelombang Air Laut

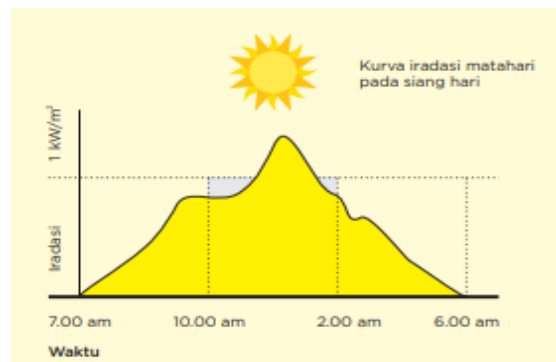
(Sumber : <https://elektro-trunoyo.blogspot.com/2015/04/macam-macam-energi-tebarukan.html>)



Laut menyediakan beberapa bentuk energi terbarukan, dan masing-masing didorong oleh kekuatan yang berbeda. Energi dari gelombang laut dan pasang surut dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik, dan energi termal laut dari panas yang tersimpan dalam air laut dapat juga diubah menjadi listrik. Meskipun pada masa sekarang, energi laut memerlukan teknologi yang mahal dibandingkan dengan sumber energi terbarukan lainnya, selain itu energi yang dihasilkan oleh gelombang air laut hanya bisa digunakan di sekitar daerah laut saja. Tapi laut tetap penting sebagai sumber energi potensial untuk masa depan.[3]

## 2.2 Tenaga Surya

Tenaga surya senantiasa mencapai Bumi, 24 jam sehari, tujuh hari seminggu. Cahaya matahari mengandung tenaga yang sedemikian banyaknya, sehingga bahkan sebagian cahaya matahari yang jatuh akan cukup memenuhi kebutuhan energi untuk semua kebutuhan energi umat manusia. Pada saat matahari tengah hari, tenaga surya mencapai permukaan bumi dengan nilai energi puncak sebesar satu kilowatt (1 kW) per meter persegi per jam. Jadi, jika semua energi ini bisa ditampung, maka akan bisa menyediakan semua kebutuhan tenaga listrik yang di butuhkan oleh manusia.



**Gambar 2.10** Grafik sinar matahari

(Sumber : Sihombing, Chilton. 2011, Energi yang terbarukan)



Seperti yang diketahui dalam letak geografisnya, Indonesia terletak di garis lintang  $0^\circ$  atau disebut juga garis khatulistiwa. Dengan letak daerah tersebut, Indonesia memiliki cuaca tropis dan dikarunia sinar matahari yang melimpah. Hampir di setiap pelosok Indonesia, matahari menyinari sepanjang pagi sampai sore. Energi matahari yang dipancarkan dapat diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan sel surya.

Pembangkit listrik tenaga surya adalah teknologi yang ramah lingkungan, dan sangat menjanjikan. Sebagai salah satu alternatif untuk menggantikan pembangkit listrik menggunakan uap (dengan minyak dan batubara).

Perkembangan teknologi dalam membuat sel surya yang lebih baik dalam tingkat efisiensi, pembuatan aki yang tahan lama, pembuatan alat elektronik yang dapat menggunakan *Direct Current* (DC), adalah sangat menjanjikan.

Pada saat ini penggunaan tenaga matahari masih dirasakan mahal karena tidak adanya subsidi. Listrik yang kita gunakan saat ini sebenarnya adalah listrik bersubsidi. Bayangkan perusahaan/ penambangan minyak tanah, batubara (yang merusak lingkungan), pembuatan pembangkit tenaga listrik uap, distribusi tenaga listrik, yang semuanya dibangun dengan biaya besar.

Kelebihan penggunaan listrik tenaga surya :

- 1) Energi yang terbarukan/ tidak pernah habis
- 2) Bersih dan ramah lingkungan

- 
1. Perdana, Aditya, [https://adityapersuma.blogspot.com/2015/09/energi-adalah kemampuan untuk.html](https://adityapersuma.blogspot.com/2015/09/energi-adalah-kemampuan-untuk.html) diakses pada 16 juni 2019 pukul 19.40 WIB.
  2. <http://www.cakmat.com/2017/08/15HariCeritaEnergiDay6.html> Diakses pada 2 Juli 2019 Pukul 21.52 WIB
  3. Faidil, Achmad April, 2015 <https://elektro-trunojoyo.blogspot.com/2015/04/macam-macam-energi-tebarukan.html> Diakses pada 16 juni 2019 puku l 20.25 WIB.





- 3) Umur panel surya/ solar cell yang panjang/ investasi jangka panjang
- 4) Praktis serta mudahnya perawatan panel surya
- 5) Sangat cocok untuk di daerah tropis Indonesia[4]

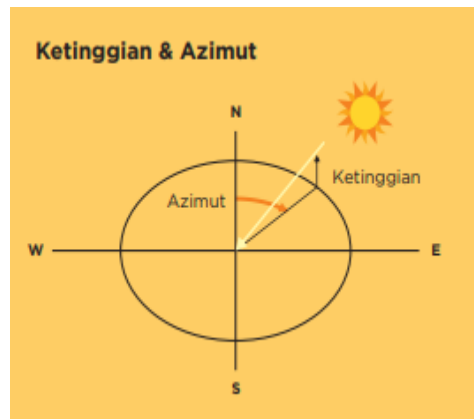
### 2.2.1 Radiasi Tenaga Surya

Daya yang dihasilkan sebuah panel surya bergantung pada radiasi matahari yang diterima, luas permukaan panel dan suhu panel. Daya yang dihasilkan semakin besar jika radiasi dan luas permukaan lebih besar, sedang kenaikan suhu mengakibatkan penurunan daya

Intensitas radiasi matahari di luar atmosfer bumi bergantung pada jarak antara matahari dengan bumi. Tiap tahun, jarak ini bervariasi antara  $1,47 \times 10^8$  km dan  $1,52 \times 10^8$  km dan hasil besarnya pancaran  $E_0$  naik turun antara  $1325 \text{ W/m}^2$  sampai  $1412 \text{ W/m}^2$ . Nilai rata-ratanya disebut konstanta matahari dengan nilai  $E_0 = 1367 \text{ W/m}^2$ . Nilai konstan ini bukanlah besarnya radiasi yang sampai ke permukaan bumi. Atmosfer bumi mereduksi atau mengurangi radiasi matahari matahari melalui proses pemantulan, penyerapan, (oleh ozon, uap air, oksigen, dan karbon dioksida) dan penghamburan (oleh molekul-molekul udara, partikel debu dan polusi) dan nilai ini relative terhadap lokasi.

Lokasi matahari ditentukan oleh dua sudut, yaitu :

- 1) Sudut ketinggian matahari ( $\alpha$ ) adalah sudut antara cahaya matahari dan bidang horizontal.
- 2) Azimuth matahari ( $\beta$ ) adalah sudut antara proyeksi cahaya matahari pada bidang horizontal (sudut kemiringan modul) dan utara (di belahan bumi selatan) atau selatan (di belahan bumi utara).



**Gambar 2.11** Ketinggian dan Azimut matahari

(Sumber : Sihombing, Chilton. 2011, *Energi yang terbarukan*)

Radiasi matahari adalah integrasi atau penjumlahan penyinaran matahari selama periode waktu. Kecepatan dimaa energi matahari mencapai kawasan bumi disebut dengan *solar irradiance* atau *insolation*. *Insolation* adalah ukuran energi radiasi matahari yang diterima disuatu kawasan bumi pada suatu waktu. Satuan ukuran untuk irradiance adalah watt per meter persegi ( $J/m^2$ ). Sementara, satuan ukuan radiasi matahari atau adalah joule per meter persegi ( $J/m^2$ ) atau watt hour per meter persegi ( $Wh/m^2$ )

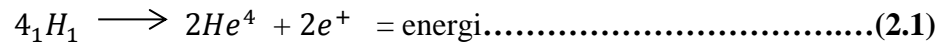
Radiasi matahari yang dapat diterima oleh panel surya dibagi menjadi tiga jenis yaitu :

- 1) Radiasi langsung (*direct radiation* atau *beam radiation*) yaitu intensitas radiasi matahari yang langsung diterima di permukaan bumi.
- 2) Radiasi tersebar (*diffuse radiation*) yaitu radiasi matahari yang dterima di permukaan bumi karena pantulan awan dan partikel atmosfer bumi.
- 3) Radiasi pantulan yaitu radiasi yang dipantulkan oleh permukaan yang berdekatan, besarnya dipengaruhi oleh reflektansi permukaan yang berdekatan.[4]

Nilai *irredience* matahari maksimum digunakan dalam perancangan sistem untuk menentukan tingkat puncak input energi memasuki sistem



matahari, jika penyimpanan dimasukkan ke dalam perancangan sistem maka penting untuk mengetahui variasi *irredience* matahari selama periode tersebut untuk mengoptimalkan desain sistem. Energi yang diradiasikan akibat transformasi hidrogen menjadi helium kemudian menghasilkan energi.



Sebagian energi tersebut ditransmisikan ke bumi dengan cara radiasi gelombang elektromagnetik. Radiasi menjalar dengan kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ) dalam bentuk gelombang yang mempunyai panjang gelombang yang berbeda-beda. Peristiwa ini akan berhenti jika *hydrogen* dalam reaksi inti habis. Radiasi yang diemisikan oleh matahari dan ruang angkasa ke bumi menghasilkan intensitas radiasi matahari yang hampir konstan di luar atmosfer bumi.[5]

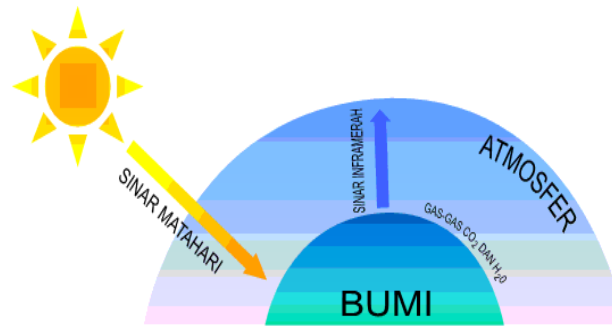
### 2.2.2 Distribusi radiasi matahari

Indonesia terletak pada kawasan iklim katulistiwa, sinar surya rata-rata harian adalah  $4000\text{-}5000 \text{ W/m}^2$  sedangkan rata-rata jumlah jam sinaran antara 4 hingga 8 jam. Sinar surya mempunyai dua komponen yaitu sinar surya langsung dan sinar surya tidak langsung. Komponen sinar surya langsung adalah yang dihantar tanpa diserap dalam awan dan langsung menimpa bumi, sedangkan sinar surya tidak langsung adalah setelah mengenai awan dan menimpa bumi. Jumlah kedua-duanya dikenal sebagai sinar surya global atau sinaran surya sejagat. Keadaan langit di kawasan tropika ini berawan, karena komponen sinar surya langsung kurang dari 40%. Perincian ini penting terutama dalam membuat dan pemilihan pengumpulan surya.

Radiasi surya yang melalui atmosfer bumi akan mengalami penurunan intensitas atau berkurang, karena ada hamburan oleh partikel aerosols dan penyerapan oleh gas atmosfer seperti  $O_2$ , ozon,  $H_2O$  dan  $CO_2$ . Radiasi yang dihamburkan disebut difusi sebagai dan radiasi difusi kembali ke udara dan sebagian menuju ke permukaan bumi. Radiasi yang langsung mencapai



permukaan bumi disebut radiasi langsung hanya 51 % dan 4 % di pantulkan kembali ke udara oleh permukaan bumi, 26 % dihamburkan atau dipantulkan ke udara oleh partikel atmosfer dan awan, dan 19% diserap oleh gas atmosfer, partikel dan awan.



**Gambar 2.12** Distribusi radiasi

(Sumber : matahari<https://irmavina28blog.wordpress.com/2015/06/08/pengaruh-radiasi-matahari-terhadap-kehidupan-di-bumi/>)

Jumlah total radiasi yang diterima di permukaan bumi tergantung pada empat faktor sebagai berikut:

- 1) Jarak matahari, setiap perubahan jarak bumi dan matahari menimbulkan variasi terhadap penerimaan energi matahari.
- 2) Intensitas radiasi matahari, yaitu besar-kecilnya sudut datang sinar matahari pada permukaan bumi. Jumlah yang diterima berbanding lurus dengan lurus dengan besarnya sudut datang. Sinar dengan sudut datang yang miring kurang memberikan energi pada permukaan bumi dikarenakan energinya tersebar pada permukaan yang luas. Selain itu, karena sinar tersebut harus menempuh lapisan atmosfer yang datang lebih jauh daripada jika sinar dengan sudut datang tegak lurus.
- 3) Panjang hari (*sun duration*), yaitu jarak dan lamanya antara matahari terbit dan matahari terbenam.
- 4) Pengaruh atmosfer, sinar yang melalui atmosfer sebagian akan diabsorpsi oleh gas-gas, debu, dan uap air lalu dipantulkan kembali, dipancarkan dan



sisanya diteruskan ke permukaan bumi. Selain itu, radiasi matahari bisa menangkal *black hole* yang bisa memerangkap cahaya.[5]

## 2.3 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya

### 2.3.1 Sel Surya (*Solar Cell*)



**Gambar 2.13** Polar sel (*Solar Cell*)

(Sumber: <http://solarsuryaindonesia.com/wp-content/uploads/2012/04/Sharp-ND-T130T1J-288x288.jpg>)

Sel surya (*Solar cell*) atau sel fotovoltaik berasal dari bahasa inggris yaitu “*photovoltaic*”. *Photovoltaic* berasal dari dua kata yaitu “*photo*” yang berarti cahaya dan kata “*volt*” adalah nama satuan pengukuran tegangan listrik. Sel surya (*Solar cell*) merupakan sebuah divais semikonduktor yang memiliki permukaan luas dan terdiri dari rangkaian diode tipe “p” dan “n”, yang mampu merubah energi matahari menjadi energi listrik. Sel surya (*Solar Cell*) bergantung pada efek fotovoltaik untuk menyerap energi matahari dan menyebabkan arus mengalir antara dua lapisan bermuatan yang berlawanan. Perbedaan utama dari panel sel surya adalah bahan produksi dari sel surya. Bahan sel surya yang paling umum adalah *crystalline silicon*. Bahan *crystalline* dapat terdiri dari *monocrystalline* dan *polycrystalline*.

- *Polycrystalline* berwarna kebiruan dengan bercak-bercak biru muda dan biru tua. Jenis ini yang paling banyak digunakan pada pembangkit listrik tenaga surya skala kecil. Efisiensinya yaitu sekitar angka belasan persen.



- *Monocrystalline*, mempunyai efisiensi lebih baik lagi tetapi harganya juga relatif lebih mahal. Jenis ini dapat dikenali dengan warnanya yang kebiruan polos tanpa bercak.
- Selain itu panel sel surya ada yang terbuat dari lapisan tipis amorphous silicon, berwarna agak gelap kehitaman dan umum digunakan pada perangkat dengan konsumsi daya sangat rendah seperti kalkulator. Efisiensi dari jenis ini paling rendah yaitu sekitar 3-5%.

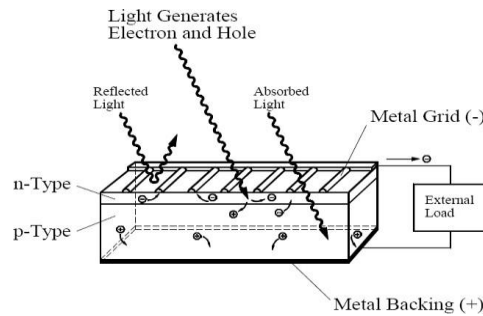
#### 1) Prinsip Kerja Fotovoltaik

Apabila suatu bahan semikonduktor seperti bahan silikon disimpan dibawah sinar matahari, maka bahan silikon tersebut akan melepaskan sejumlah kecil listrik yang biasa disebut *efek fotolistrik*. Efek fotolistrik adalah pelepasan elektron dari permukaan metal yang disebabkan penumbukan cahaya. Efek ini merupakan proses dasar fisis dari fotovoltaik merubah energi cahaya menjadi listrik.

Cahaya matahari terdiri dari partikel-partikel yang disebut sebagai “*photons*” yang mempunyai sejumlah energi yang besarnya tergantung dari panjang gelombang pada spektrum cahaya. Pada saat photon menumbuk sel surya maka cahaya tersebut akan dipantulkan atau diserap atau mungkin hanya diteruskan. Cahaya yang diserap akan membangkitkan listrik.

Pada saat terjadi tumbukan, energi yang dikandung oleh photon ditransfer pada elektron yang terdapat pada atom sel surya yang merupakan bahan semikonduktor. Dengan energi yang didapat dari photon, elektron melepaskan diri dari ikatan normal bahan semikonduktor dan menjadi arus listrik yang mengalir dalam rangkaian listrik yang ada. Dengan melepaskan dari ikatannya, elektron tersebut menyebabkan terbentuknya lubang atau “*hole*”.

- 
4. Sihombing, Chilton. Buku Panduan PNPM Mandiri, Energi Yang Terbarukan, Contaned Energy Indonesia.
  5. (<http://anggoero.blogspot.com/2010/03/panel-surya-sel-surya.html>, diakses pada 18 juni 2019 pukul 20.53 WIB

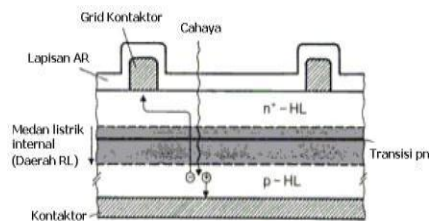


**Gambar 2.14** Konversi Cahaya Matahari

(Sumber : Alifyanti Furqani Diah, *Pengaturan Tegangan PLTS, STT PLN Jakarta*)

Konversi cahaya matahari secara umum konstruksi sebuah fotofoltaik terdiri dari tiga bagian

- Lapisan penerima radiasi
- Lapisan tempat terjadinya pemisahan muatan akibat fotoinduksi
- Lapisan kontaktor



**Gambar 2.15** Penampang PV

(Sumber : Alifyanti Furqani Diah, *Pengaturan Tegangan PLTS, STT PLN Jakarta*)

## 2) Konversi Energi Matahari

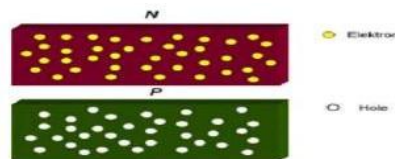
Proses pengubahan atau konversi cahaya matahari menjadi listrik ini dimungkinkan karena bahan material yang menyusun sel surya berupa semikonduktor. Lebih tepatnya tersusun atas dua jenis semikonduktor; yakni jenis n dan jenis p. Semikonduktor jenis n merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron, sehingga kelebihan muatan negatif, (n = negatif). Sedangkan semikonduktor jenis p memiliki kelebihan hole, sehingga disebut dengan p ( p = positif) karena kelebihan muatan positif. Caranya, dengan



menambahkan unsur lain ke dalam semikonduktor, maka kita dapat mengontrol jenis semikonduktor tersebut.

Pada awalnya, pembuatan dua jenis semikonduktor ini dimaksudkan untuk meningkatkan tingkat konduktifitas atau tingkat kemampuan daya hantar listrik dan panas semikonduktor alami. Di dalam semikonduktor alami (disebut dengan semikonduktor intrinsik) ini, elektron maupun hole memiliki jumlah yang sama. Kelebihan elektron atau hole dapat meningkatkan daya hantar listrik maupun panas dari sebuah semikonduktor. Dua jenis semikonduktor n dan p ini jika disatukan akan membentuk sambungan p-n atau dioda p-n (istilah lain menyebutnya dengan sambungan metalurgi / metallurgical junction) yang dapat digambarkan sebagai berikut.

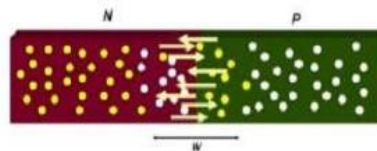
Semikonduktor jenis p dan n sebelum disambung.



**Gambar 2.16** Semikonduktor P dan N

(Sumber : Alifyanti Furqani Diah, Pengaturan Tegangan PLTS, STT PLN Jakarta)

Sesaat setelah dua jenis semikonduktor ini disambung, terjadi perpindahan elektron- elektron dari semikonduktor n menuju semikonduktor p, dan perpindahan *hole* dari semikonduktor p menuju semikonduktor n. Perpindahan elektron maupun hole ini hanya sampai pada jarak tertentu dari batas sambungan awal.



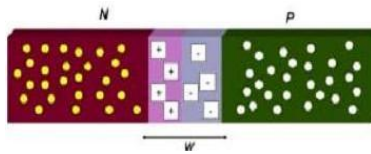
**Gambar 2.17** Semikonduktor setelah disambung

(Sumber : Alifyanti Furqani Diah, Pengaturan Tegangan PLTS, STT PLN Jakarta)





Elektron dari semikonduktor n bersatu dengan *hole* pada semikonduktor p yang mengakibatkan jumlah *hole* pada semikonduktor p akan berkurang. Daerah ini akhirnya berubah menjadi lebih bermuatan negatif. Pada saat yang sama, *hole* dari semikonduktor p bersatu dengan elektron yang ada pada Semikonduktor n yang mengakibatkan jumlah elektron di daerah ini berkurang. Daerah ini akhirnya lebih bermuatan positif.

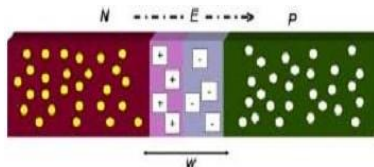


**Gambar 2.18** Daerah Deplesi

(Sumber : Alifyanti Furqani Diah, *Pengaturan Tegangan PLTS, STT PLN Jakarta*)

Daerah negatif dan positif ini disebut dengan daerah deplesi (depletion region) ditandai dengan huruf W. Baik elektron maupun *hole* yang ada pada daerah deplesi disebut dengan pembawa muatan minoritas (*minority charge carriers*) karena keberadaannya di jenis semikonduktor yang berbeda.

Dikarenakan adanya perbedaan muatan positif dan negatif di daerah deplesi, maka timbul dengan sendirinya medan listrik internal E dari sisi positif ke sisi negatif, yang mencoba menarik kembali *hole* ke semikonduktor p dan elektron ke semikonduktor n. Medan listrik ini cenderung berlawanan dengan perpindahan *hole* maupun elektron pada awal terjadinya daerah deplesi.



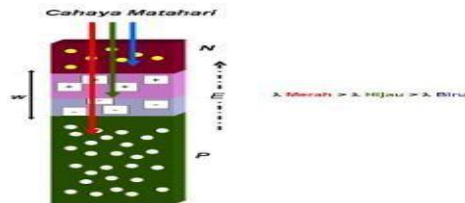
**Gambar 2.19** Timbulnya Medan Listrik

(Sumber : Alifyanti Furqani Diah, *Pengaturan Tegangan PLTS, STT PLN Jakarta*)

Adanya medan listrik mengakibatkan sambungan p-n berada pada titik setimbang, yakni saat di mana jumlah *hole* yang berpindah dari semikonduktor p ke n dikompensasi dengan jumlah *hole* yang tertarik kembali ke arah



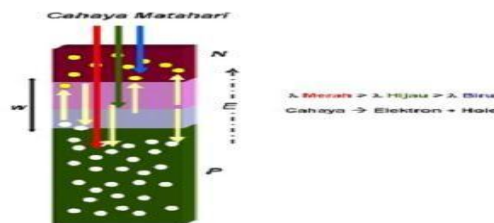
semikonduktor p akibat medan listrik E. Begitu pula dengan jumlah elektron yang berpindah dari semikonduktor n ke p, dikompensasi dengan mengalirnya kembali elektron ke semikonduktor n akibat tarikan medan listrik E. Dengan kata lain, medan listrik E mencegah seluruh elektron dan hole berpindah dari semikonduktor yang satu ke semikonduktor yang lain. Pada sambungan p-n inilah proses konversi cahaya matahari menjadi listrik terjadi. Untuk keperluan sel surya, semikonduktor n berada pada lapisan atas sambungan p yang menghadap ke arah datangnya cahaya matahari, dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor p, sehingga cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel surya dapat terus terserap dan masuk ke daerah deplesi dan semikonduktor p.



**Gambar 2.20** Proses Konversi

(Sumber : Alifyanti Furqani Diah, *Pengaturan Tegangan PLTS, STT PLN Jakarta*)

Ketika sambungan semikonduktor ini terkena cahaya matahari, maka elektron mendapat energi dari cahaya matahari untuk melepaskan diri dari semikonduktor n, daerah deplesi maupun semikonduktor. Terlepasnya elektron ini meninggalkan hole pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan fotogenerasi elektron-hole (electron-hole photogeneration) yakni terbentuknya pasangan elektron dan hole akibat cahaya matahari.

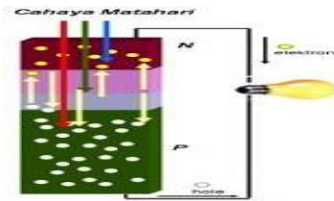


**Gambar 2.21** Proses Konversi Cahaya Matahari

(Sumber : Alifyanti Furqani Diah, *Pengaturan Tegangan PLTS, STT PLN Jakarta*)



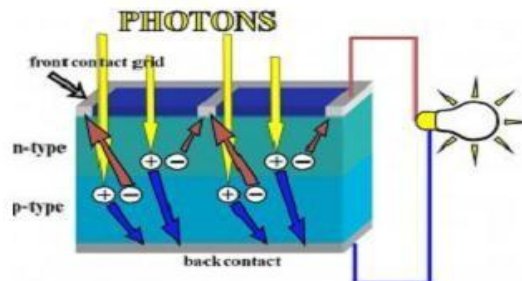
Spektrum merah dari cahaya matahari yang memiliki panjang gelombang lebih panjang, mampu menembus daerah deplesi hingga terserap di semikonduktor p yang akhirnya menghasilkan proses fotogenerasi. Spektrum biru dengan panjang gelombang yang jauh lebih pendek hanya terserap di daerah semikonduktor n. Selanjutnya, dikarenakan sambungan p-n terdapat medan listrik E, elektron hasil fotogenerasi tertarik ke arah semikonduktor n, begitu pula dengan hole yang tertarik ke arah semikonduktor p. Apabila rangkaian kabel dihubungkan ke dua bagian semikonduktor, maka elektron akan mengalir melalui kabel. Jika sebuah lampu kecil dihubungkan ke kabel, lampu tersebut menyala dikarenakan mendapat arus listrik, dimana arus listrik ini timbul akibat pergerakan elektron.



**Gambar 2.22** Rangkaian Uji Coba Arus

(Sumber : Alifyanti Furqani Diah, Pengaturan Tegangan PLTS, STT PLN Jakarta)

Pada umumnya, untuk memperkenalkan cara kerja sel surya secara umum, ilustrasi di bawah ini menjelaskan segalanya tentang proses konversi cahaya matahari menjadi energi listrik.[6]



**Gambar 2.23** Proses Konversi Energi cahaya Menjadi Energi Listrik

(Sumber : Alifyanti Furqani Diah, Pengaturan Tegangan PLTS, STT PLN Jakarta)



### 3) Perhitungan

#### a) Luas modul surya

Luas modul panel surya yang digunakan menunjang seberapa besarnya daya yang mampu diserap oleh panel surya tersebut dapat dihitung sebagai berikut :

$$A = P \cdot L \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana :

A = Luas penampang modul surya ( $m^2$ )

P = Panjang modul surya (m)

L = Lebar modul surya (m)

#### b) Daya yang diserap Panel Surya

Solar panel mengkonversikan tenaga matahari menjadi listrik. Sel silikon (disebut juga *solar cells*) yang disinari matahari/surya, membuat photon yang menghasilkan arus listrik. Sebuah *solar cell* menghasilkan kurang lebih tegangan 0,5 Volt. Jadi sebuah panel surya 12 Volt terdiri dari kurang lebih 36 sel (untuk menghasilkan 17 Volt tegangan maksimum)[7]

$$P = V \cdot I \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

P = Daya yang digunakan (Watt)

V = Tegangan hasil pengukuran (Volt)

I = Arus hasil pengukuran (Amper)

#### c) Efisiensi

Sedangkan untuk menghitung nilai efisiensi dari *solar cell* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:



$$\eta = \frac{P_{\text{output}}}{P_{\text{input}}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.4)$$

$$P_{\text{input}} = I_r \times A \dots\dots\dots(2.5)$$

$$P_{\text{output}} = V \times I \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana:

$\eta$  = Efisiensi (%)

$P_{\text{input}}$  = Daya yang diterima pada *solar cell* (Watt)

$P_{\text{output}}$  = Daya yang keluar pada *solar cell* (Watt)

$I_r$  = Intensitas cahaya matahari (Watt/m<sup>2</sup>)

$A$  = Luas permukaan *solar cell* (m<sup>2</sup>)

$V$  = Tegangan (Volt)

$I$  = Arus (Ampere)

Dimana untuk mencari nilai efisiensi dari sebuah *solar cell* diperoleh dari perbandingan daya input (daya yang diserap oleh *solar cell*) output (daya yang dihasilkan pada *solar cell*). Adapun radiasi cahaya matahari itu sendiri harus diubah menjadi energi listrik. Dibawah ini adalah satuan konversi:

$$1 \text{ Lux} = 1 \text{ Lumen/m}^2, 1 \text{ Lumen} = 0,0015 \text{ Watt}$$

Dari satuan konversi diatas maka dapat dicari berapa energi surya yang diterima oleh panel surya dari sinar matahari hanya mampu menghasilkan daya yang kecil dihasilkan dengan menghubungkan paralel.[8]

### 2.3.2 Inverter

Inverter adalah salah satu komponen penting catu daya yang berfungsi mengubah sumber tegangan masukan DC ke bentuk sumber tegangan keluaran AC. Secara definisi, rangkaian inverter ideal adalah inverter yang tidak menghasilkan riak di sisi masukannya dan menghasilkan sinyal sinusoidal murni di sisi keluarannya, baik yang terkontrol arus/tegangan, terkontrol frekuensi, ataupun terkontrol kedua-duanya. Secara umum rangkaian inverter biasanya



digunakan dalam aplikasi pengendali kecepatan motor AC, *variable-frequency drives*, UPS/catu-daya AC, pemanas induksi/microwave, Static VAR Generator, FACTS (*Flexible AC Transmission System*), transmisi daya HVDC, ataupun digunakan sebagai rangkaian rectifier-inverter.

Cara kerja inverter ini sebenarnya dilakukan dengan cara mengubah input motor listrik AC menjadi DC, yang kemudian diubah lagi menjadi AC dengan frekuensi yang dikehendaki, sehingga motor listrik tersebut dapat dikontrol atau dikendalikan sesuai dengan kecepatan yang diinginkan.[6]



**Gambar 2.24** Inverter

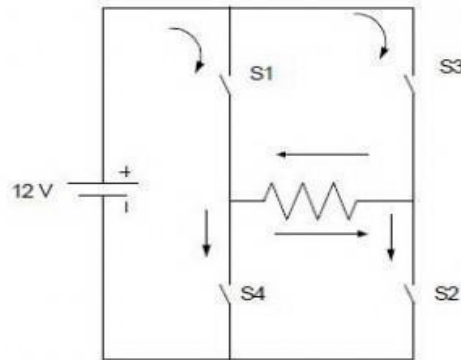
(Sumber : <https://img.fasttechcdn.com/959/9593000/9593000-5.jpg>)

Agar inverter dapat menghasilkan sinyal sinusoidal, salah satunya adalah dengan mengatur keterlambatan sudut penyalan inverter di tiap-tiap lengannya. Cara paling umumnya yang biasa digunakan adalah modulasi lebar pulsa (PWM).

- 
6. Alifyanti Furqani Diah. Pengaturan Tegangan PLTS 1000 Watt, STT PLN Jakarta (Hal 80, 83-85)
  7. Office, Infopromodiskon. 2017. Daya yang diserap panel, <http://infopromodiskon.com/news/detail/277/bagaimana-cara-menghitung-kebutuhan-panelsurya.html>, diakses tanggal 20 juni 2019 Pukul 13.00 WIB.
  8. Hijau, Kelompok. 2017. Luas panel surya, <http://kelompokhijau.com/post/efisiensi-solar/>, diakses tanggal 20 Juni 2019 Pukul 13.14 WIB



## 1) Fungsi Inverter

**Gambar 2.25** Fungsi inverter

(Sumber : <https://indone5ia.wordpress.com/2011/09/23/rangkaian-elektronikadaya-inverter-mengubah-tegangan-dc-ac/>)

Prinsip kerja inverter dapat dijelaskan dengan menggunakan 4 sakelar seperti ditunjukkan pada diatas. Bila sakelar S1 dan S2 dalam kondisi on maka akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kiri ke kanan,

jika yang hidup adalah sakelar S3 dan S4. Maka, akan mengalir aliran arus DC ke beban R dari arah kanan ke kiri. Inverter biasanya menggunakan rangkaian modulasi lebar pulsa (*pulse width modulation – PWM*) dalam proses conversi tegangan DC menjadi tegangan AC.

## 2) Pemilihan inverter

Hal-hal yang harus diperhatikan dalam memilih inverter DC ke AC diantaranya adalah :

- a) Kapasitas beban yang akan disupply oleh inverter dalam Watt, usahakan memilih inverter yang beban kerjanya mendekati dengan beban yang hendak kita gunakan agar efisiensi kerjanya maksimal.



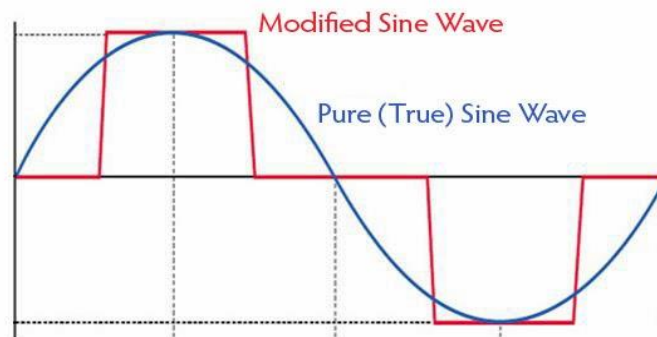
- b) Sumber tegangan input inverter yang akan digunakan, input DC 12 Volt atau 24 Volt.
- c) Bentuk gelombang output inverter, *Sinewave* ataupun *square wave* untuk tegangan output AC inverter. Hal ini berkaitan dengan kesesuaian dan efisiensi inverter DC ke AC tersebut.

Seperti yang telah dikaitkan tadi, inverter memiliki fungsi mengubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC). Perubahan tersebut dilakukan dengan mengubah kecepatan motor

AC dengan cara mengubah frekuensi outputnya, bisa disebut multifungsi dikarenakan dapat mengubah arus AC ke DC, lalu mengembalikannya lagi ke AC.

Inverter banyak digunakan pada bidang otomatisasi industri. Pengaplikasian inverter biasanya terpasang diproses linear (parameter yang bisa diubah ubah). Linear yang dimaksud memiliki bentuk seperti grafik sinus, atau untuk sistem axis (*servo*) yang membutuhkan atau memerlukan putaran yang presisi.[9]

- 3) Terdapat 2 tipe inverter sebagai pengubah tegangan DC ke AC dengan perbandingan penggunaanya yaitu :



**Gambar 2.26** Bentuk Gelombang MSW dan PSW

(Sumber : [3.bp.blogspot.com/-](http://3.bp.blogspot.com/-qEv15ShwRdY/UIU3PojZeWI/AAAAAAAAACU/ATyCwmAmTEc/s1600/sine-waves2.jpg)

[qEv15ShwRdY/UIU3PojZeWI/AAAAAAAAACU/ATyCwmAmTEc/s1600/sine-waves2.jpg](http://3.bp.blogspot.com/-qEv15ShwRdY/UIU3PojZeWI/AAAAAAAAACU/ATyCwmAmTEc/s1600/sine-waves2.jpg))





- *Modified Sine Wave (MSW)*

MSW Inverter berarti gelombang sinus output disederhanakan sehingga bukannya siklus/gelombang listrik yang halus, kurva tersebut diubah lebih kasar sehingga transisi dari  $v_e$  dan  $-v_e$  lebih vertikal dan tiba-tiba.

Hampir seluruh peralatan listrik yang sederhana seperti alat-alat listrik, lampu, element pemanas dan motor listrik sederhana masih dapat bekerja dengan baik dengan menggunakan MSW Inverter meskipun peralatan tersebut akan menghasilkan noise yang lebih besar dan mengkonsumsi daya yang lebih besar dibandingkan dalam kondisi normalnya. Dikarenakan MSW Inverter ini tidak menghasilkan daya gelombang sinus murni, maka tidak direkomendasikan untuk digunakan dengan peralatan elektronik seperti TV dan komputer. Jam dan perangkat waktu lainnya (seperti mesin cuci digital) dapat berjalan terlalu cepat atau terlalu lambat.

Sesuai dengan kemajuan teknologi pada saat ini, maka banyak peralatan listrik yang semakin canggih yang menggunakan pengaturan otomatis dengan microprocessor seperti komputer, GPS, printer laser, coffee maker, dimmer lampu, pengisi daya baterai, motor listrik dan sebagainya dan peralatan medis dapat tidak bekerja dengan baik, tidak bekerja sama sekali, bahkan dapat rusak apabila menggunakan MSW Inverter.

tergantung bagaimana *men-set up* nya dan seberapa handal peralatan tersebut, peralatan dapat berjalan dengan baik, tetapi akan dapat mengalami noise yang tinggi, kelebihan panas dan permasalahan keandalan peralatan. Ia juga dapat memperpendek umur pemakaian alat musik. Dan untuk penggunaan inverter PSW (*Pure Sin Wave*) sebaiknya hanya digunakan untuk menghidupkan lampu dan kipas angin saja.



- *Pure Sin Wave (PSW)*

PSW Inverter disebut juga dengan nama *True Sine Wave Inverter*, mengubah arus searah DC menjadi arus bolak-balik (AC) dengan gelombang sinus murni yang sama dengan arus listrik yang dihasilkan oleh PLN sehingga inverter jenis ini dapat digunakan untuk mengoperasikan seluruh peralatan alat listrik yang ada, peralatan listrik yang sensitif, canggih dan yang membutuhkan kalibrasi dengan handal dan tanpa menghasil gangguan *noise* secara elektris.

Dalam penggunaannya saat ini terbagi dalam 2 jenis inverter yaitu

- *High Frequency PSW*

*High Frequency PSW Inverter* saat ini sudah banyak dijual secara umum di pasaran, dimana harga *High Frequency PSW Inverter* lebih murah dibandingkan dengan *Low Frequency PSW Inverter*. *High Frequency PSW Inverter* memiliki efisiensi yang lebih tinggi, ukuran yang lebih kecil dan berat yang lebih ringan apabila dibandingkan dengan *Low Frequency PSW Inverter* untuk kapasitas yang sama. *High Frequency PSW Inverter* cocok untuk mengoperasikan peralatan listrik pada umumnya yang tidak membutuhkan daya start up yang besar atau mengkonsumsi daya secara konsisten (Cocok untuk komputer, printer, monitor dsb) dan tidak disarankan untuk mengoperasikan beban seperti men-*start up* motor, pompa, AC, kulkas dan peralatan pertukangan.

- *Low Frequency PSW*

*Low Frequency PSW Inverter* selain dapat mengoperasikan seluruh jenis beban yang dapat dioperasikan oleh *High Frequency PSW Inverter*, *Low Frequency PSW Inverter* didisain untuk dapat mengoperasikan beban seperti men-*start up* motor, pompa, AC, kulkas dan peralatan pertukangan. *Low Frequency PSW Inverter* memiliki umur pakai yang lebih lama dan ketahanan yang lebih



tinggi dibandingkan dengan *High Frequency* PSW Inverter. Apabila Anda menginginkan inverter yang berumur panjang, tahan terhadap panas dan vibrasi yang ekstrem serta dapat memenuhi berbagai kebutuhan daya, maka Anda membutuhkan *Low Frequency Pure Sine Wave* Inverter.[10]

#### 4) Perhitungan Daya Terpasang

Untuk nilai efisiensi dari inverter yang digunakan adalah sebesar 17% Dari kapasitasnya 1500 VA, dan untuk tegangan keluaran dari inverter yang telah disifisiensi adalah sebesar 255 VA, Untuk mengetahui berapa daya yang dapat di bebaskan dari PLTS adalah :

$$P = S \times \text{Cos}\emptyset \dots \dots \dots 2.7$$

Dimana :

P = Daya Aktif (Watt)

S = Daya Nyata (VA)

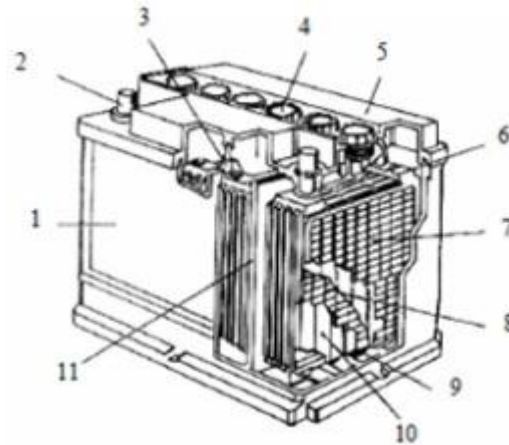
Cos $\emptyset$  = Efisiensi Inverter sebesar 0,99

### 2.3.3 Baterai/Akumulator

Baterai sekunder/akumulator yaitu baterai yang dapat digunakan berkali-kali dengan mengisi kembali muatannya karena reaksi kimianya bersifat bisa dibalik (*reversible reaction*), apabila telah habis energinya setelah dipakai. Akumulator merupakan jenis baterai sekunder yang merupakan elemen elektrokimia yang dapat memperbaharui bahan-bahan pereaksinya. Jenis akumulator yang sering dipakai adalah akumulator timbal. Akumulator ini terdiri dari dua kumpulan pelat yang dicelupkan dalam larutan asam-sulfat encer. Kedua kumpulan pelat dibuat dari timbal, sedangkan lapisan timbal dioksida akan dibentuk pada pelat positif ketika lemen pertama kali dimuati. Letak pelat positif



dan negatif sangat berdekatan tetapi dicegah tidak langsung menyentuh oleh pemisah yang terbuat dari bahan penyekat (isolator).



**Gambar 2.27** Konstruksi akumulator

(Sumber : <https://teacherroom.wordpress.com/2014/05/22/baterai-acuumulator/>)

Bagian-bagian akumulator timah hitam dan fungsinya sebagai berikut :

- 1) Rangka, berfungsi sebagai rumah akumulator.
- 2) Kepala kutub positif, berfungsi sebagai terminal kutub positif.
- 3) Penghubung sel, berfungsi untuk menghubungkan sel-sel.
- 4) Tutup Ventilasi, berfungsi menutup lubang sel..
- 5) Penutup, berfungsi untuk menutup bagian atas akumulator.
- 6) Plat-plat, berfungsi sebagai bidang pereaktor.
- 7) Plat negatif, terbuat dari Pb, berfungsi sebagai bahan aktif akumulator.
- 8) Plat positif, terbuat dari  $PbO_2$ , berfungsi sebagai bahan aktif akumulator.
- 9) Ruang sedimen, berfungsi untuk menampung kotoran.
- 10) Plastik pemisah, berfungsi untuk memisahkan plat positif dan negatif.

10. <https://swiftlet-secret.blogspot.com/2013/10/panduan-memilih-inverter.html>

Diakses pada 11 juli 2019 Pukul 21.22 WIB



11) Sel-sel. Plat positif ( $\text{PbO}_2$ ) berwarna coklat, sedangkan plat negatif berwarna abu-abu. Luas bidang reaksi plat positif

$$L = 2.p.l.n \dots \dots \dots (2.8)$$

dimana :

L = luas bidang plat positif ( $\text{cm}^2$ )

p = panjang plat positif (cm)

l = lebar plat positif (cm)

n = jumlah plat positif tiap-tiap sel

Kapasitas tiap plat positif = 0,03 sampai dengan 0,05 AH (ampere jam). Tiap sel akumulator timah hitam menghasilkan tegangan 2 volt.

#### 1) Fungsi dan konstruksi baterai aki

- a) Baterai adalah alat untuk menyimpan sumber dari tenaga listrik dengan melalui proses elektrokimia sehingga sumber dari tenaga listrik dapat diubah menjadi tenaga kimia dan sebaliknya
- b) Tenaga kimia menjadi tenaga listrik
- c) Fungsi baterai adalah untuk memberikan sumber tenaga listrik yang cukup pada sebuah peralatan misalnya untuk menghidupkan mobil (*starter*) serta melayani proses pada sistem pengapian hingga melayani penerangan lampu dan kebutuhan lainnya pada mobil atau motor

#### 2) Prinsip kerja baterai/aki

Baterai adalah perangkat yang mampu menghasilkan tegangan DC, yaitu dengan cara mengubah energi kimia yang terkandung didalamnya menjadi energi listrik melalui reaksi elektro kimia, Redoks (Reduksi – Oksidasi). Baterai terdiri dari beberapa sel listrik, sel listrik tersebut menjadi penyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia.

---

11. Rusdianto,Ichsan. <https://teacherroom.wordpress.com/2014/05/22/baterai-acuumulator/>  
Diakses pada 20 Juni 2019 pukul 14.47 WIB.



Sel baterai tersebut elektroda – elektroda. Elektroda negatif disebut katoda, yang berfungsi sebagai pemberi elektron. Elektroda positif disebut anoda yang berfungsi sebagai penerima elektron. Antara anoda dan katoda akan mengalir arus yaitu dari kutub positif (anoda) ke kutub negatif (katoda). Sedangkan electron akan mengalir dari katoda menuju anoda.

Baterai adalah suatu proses kimia listrik, dimana pada saat pengisian/*cas/charge* energi listrik diubah menjadi kimia dan saat pengeluaran/*discharge* energi kimia diubah menjadi energi listrik. Baterai terdiri dari satu atau lebih voltaic cell (tergantung besarnya voltase yang diinginkan contohnya baterai aki 6 Volt atau 12 Volt) . Masing-masing *voltaic cell* terdiri dari dua *half cells* yang dihubungkan secara seri oleh penghantar elektrolit. Satu *half cells* mempunyai elektroda positif (katoda) yang satunya elektroda negatif (anoda). Daya baterai di dapat dari reaksi reduksi dan oksidasi.

Reduksi terjadi pada katoda dan oksidasi terjadi di anoda. Elektroda tersebut tidak bersentuhan dan arus listrik dihubungkan dengan elektrolit. Elektrolit dapat berupa cairan atau padat. Untuk lebih penjelasan lebih detail tentang baterai (dalam hal ini adalah aki; aki mobil/motor/mainan yang memakai elektrolit cair). Aki terdiri dari sel-sel dimana tiap sel memiliki tegangan sebesar 2 V, artinya aki mobil dan aki motor yang memiliki tegangan 12 V terdiri dari 6 sel yang dipasang secara seri ( $12\text{ V} = 6 \times 2\text{ V}$ ) sedangkan aki yang memiliki tegangan 6 V memiliki 3 sel yang dipasang secara seri ( $6\text{ V} = 3 \times 2\text{ V}$ ).

Antara satu sel dengan sel lainnya dipisahkan oleh dinding penyekat yang terdapat dalam bak baterai, artinya tiap ruang pada sel tidak berhubungan karena itu cairan elektrolit pada tiap sel juga tidak berhubungan (dinding pemisah antar sel tidak boleh ada yang bocor/merembes). Di dalam satu sel terdapat susunan pelat pelat yaitu beberapa pelat untuk kutub positif (antar pelat dipisahkan oleh kayu, ebonit atau plastik, tergantung teknologi yang digunakan) dan beberapa pelat untuk kutub negatif. Bahan aktif dari plat

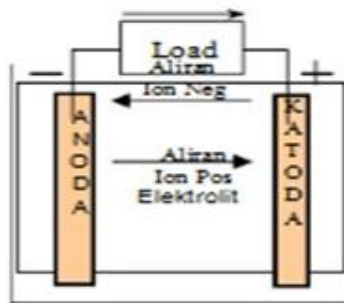


positif terbuat dari oksida timah coklat ( $\text{PbO}_2$ ) sedangkan bahan aktif dari plat negatif ialah timah.

Terdapat 2 proses yang terjadi pada baterai :

a) Proses Pengosongan

Proses pengosongan adalah proses perubahan energi kimia menjadi energi listrik. Proses *discharge* pada sel berlangsung menurut skema gambar 6. Bila sel dihubungkan dengan beban maka elektron mengalir dari anoda melalui beban ke katoda, kemudian ion-ion negatif mengalir ke anoda dan ion-ion positif mengalir ke katoda.



**Gambar 2.28** Proses pengosongan (*discharging*)

(Sumber : <https://teacherroom.wordpress.com/2014/05/22/baterai-acuumulator/>)

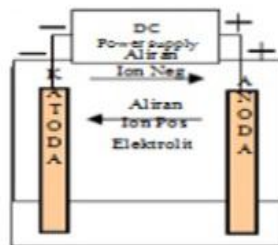
Pada saat baterai mengeluarkan arus, oksigen (O) pada pelat positif terlepas karena bereaksi/bersenyawa/bergabung dengan hidrogen (H) pada cairan elektrolit yang secara perlahan-lahan keduanya bergabung / berubah menjadi air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) dan asam ( $\text{SO}_4$ ) pada cairan elektrolit bergabung dengan timah (Pb) di pelat positif maupun pelat negatif sehingga menempel di kedua pelat tersebut. Reaksi ini akan berlangsung terus sampai isi (tenaga baterai) habis alias dalam keadaan *discharge*. Pada saat baterai dalam keadaan *discharge* maka hampir semua asam melekat pada pelat-pelat dalam sel sehingga cairan elektrolit konsentrasinya sangat rendah dan hampir hanya terdiri dari air ( $\text{H}_2\text{O}$ ),



akibatnya berat jenis cairan menurun menjadi sekitar  $1,1 \text{ kg/dm}^3$  dan ini mendekati berat jenis air yang  $1 \text{ kg/dm}^3$ . Sedangkan baterai yang masih berkapasitas penuh berat jenisnya sekitar  $1,285 \text{ kg/dm}^3$ . Dengan perbedaan berat jenis inilah kapasitas isi baterai bisa diketahui apakah masih penuh atau sudah berkurang yaitu dengan menggunakan alat hidrometer. Hidrometer ini merupakan salah satu alat yang wajib ada di bengkel aki (bengkel yang menyediakan jasa setrum/cas aki). Selain itu pada saat baterai dalam keadaan *discharge* maka 85% cairan elektrolit terdiri dari air ( $\text{H}_2\text{O}$ ) dimana air ini bisa membeku, bak baterai pecah dan pelat-pelat menjadi rusak.

#### b) Proses Pengisian

Proses pengisian adalah proses perubahan energi listrik menjadi energi kimia. Pada proses pengisian menurut skema gambar 7 adalah bila sel dihubungkan dengan *power supply* maka elektroda positif menjadi anoda dan elektroda negatif menjadi katoda. Dan proses kimia yang terjadi adalah sebagai berikut :



**Gambar 2.29** Proses pengisian (*charging*)

(Sumber : <https://teacherroom.wordpress.com/2014/05/22/baterai-acuumulator/>)

- Aliran elektron menjadi terbalik, mengalir dari anoda melalui *power supply* menuju ke katoda.
- Ion-ion negatif mengalir dari katoda ke anoda.
- Ion-ion positif mengalir dari anoda ke katoda.

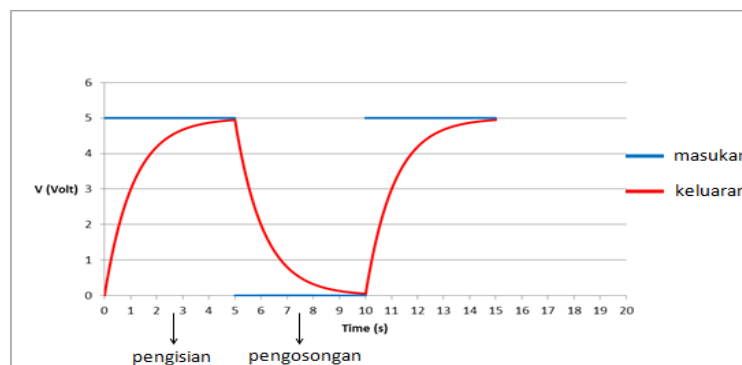
Baterai yang menerima arus adalah baterai yang sedang disetrum / dicas / sedang diisi dengan cara dialirkan listrik DC, dimana kutub positif baterai





dihubungkan dengan arus listrik positif dan kutub negatif dihubungkan dengan arus listrik negatif. Tegangan yang dialiri biasanya sama dengan tegangan total yang dimiliki baterai, artinya baterai 12V dialiri tegangan 12V DC, baterai 6V dialiri tegangan 6V DC, dan dua baterai 12V yang dihubungkan secara seri dialiri tegangan 24V DC (baterai yang dihubungkan seri total tegangannya adalah sama dengan jumlah dari masing-masing tegangan baterai). Hal ini dapat ditemukan pada bengkel aki dimana ada beberapa baterai yang dihubungkan secara seri dan disetrum sekaligus. Kuat arus (ampere) yang harus dialiri bergantung juga dari kapasitas yang dimiliki baterai tersebut.

Proses pengisian ini berlawanan dengan proses pengosongan, yaitu : oksigen (O) dalam air ( $H_2O$ ) terlepas karena bereaksi / bersenyawa / bergabung dengan timah (Pb) pada pelat positif dan secara perlahan – lahan kembali menjadi oksida timah colat ( $PbO_2$ ) dan asam ( $SO_4$ ) yang menempel pada kedua pelat (pelat positif maupun negatif) terlepas dan bergabung dengan hidrogen (H) pada air ( $H_2O$ ) di dalam cairan elektrolit dan kembali terbentuk menjadi asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) sebagai cairan elektrolit. Akibatnya berat jenis cairan elektrolit bertambah menjadi sekitar 1,285 (pada baterai yang terisi penuh). Jadi reaksi kimia pada saat pengisian (*charging*) adalah kebalikan dari reaksi kimia pada saat pengosongan (*discharging*).



**Gambar 2.30** Grafik pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*)

(Sumber : <https://rprrastio.files.wordpress.com/2013/12/2.png>)



- c) Hal-hal yang perlu diperhatikan pada saat penyimpanan baterai :
- Baterai yang tidak dipakai harus disimpan di tempat yang kering, sejuk dan tidak kena sinar matahari langsung, karena bias mempercepat reaksi kimia (*selfdischarge*)
  - Baterai yang diterima lebih dahulu sebaiknya didahulukan pemakaiannya.
  - Untuk baterai tipe basah, perlu adanya pengisian secara periodik, yaitu minimal 1 bulan sekali, untuk menjaga baterai tetap full charge dan tidak cepat rusak.[10]

### 2.3.4 Solar Charger Controller

Solar Charge Controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban.

*Solar charge controller* mengatur overcharging (kelebihan pengisian - karena baterai sudah 'penuh') dan kelebihan voltase dari panel surya / *solar cell*. Kelebihan voltase dan pengisian akan mengurangi umur baterai.



**Gambar 2.31** *Solar charger controller*

(Sumber : <https://grabcad.com/library/solar-charge-controller-eprc10-st>)

*Solar charge controller* menerapkan teknologi *Pulse width modulation* (PWM) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban. Panel surya / *solar cell* 12 Volt umumnya memiliki tegangan output 16 - 21 Volt.. Jadi tanpa *solar charge controller*, baterai akan rusak oleh *over-charging* dan ketidakstabilan tegangan. Baterai umumnya di-charge pada tegangan 14 - 14.7 Volt. Beberapa fungsi detail dari *solar charge controller* adalah sebagai berikut:



- a) Mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari *over charging* dan *over voltage*
- b) Memonitoring temperatur baterai
- c) Mengatur arus yang dibebaskan/ diambil dari baterai agar baterai tidak *full discharge* dan *overloading*

Seperti yang telah disebutkan di atas *solar charge controller* yang baik biasanya mempunyai kemampuan mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari panel surya / *solar cell* berhenti. Cara deteksi adalah melalui monitor level tegangan batere.

Solar charge controller akan mengisi baterai sampai level tegangan tertentu, kemudian apabila level tegangan drop, maka baterai akan diisi kembali.

*Solar Charge Controller* biasanya terdiri dari : 1 input ( 2 terminal ) yang terhubung dengan output panel surya / *solar cell*, 1 output ( 2 terminal ) yang terhubung dengan baterai / aki dan 1 output ( 2 terminal ) yang terhubung dengan beban ( *load* ). Arus listrik DC yang berasal dari baterai tidak mungkin masuk ke panel sel surya karena biasanya ada '*diode protection*' yang hanya melewatkan arus listrik DC dari panel surya / *solar cell* ke baterai, bukan sebaliknya.

*Charge Controller* bahkan ada yang mempunyai lebih dari 1 sumber daya, yaitu bukan hanya berasal dari matahari, tapi juga bisa berasal dari tenaga angin ataupun mikro hidro. Di pasaran sudah banyak ditemui *charge controller* 'tandem' yaitu mempunyai 2 input yang berasal dari matahari dan angin. Untuk ini energi yang dihasilkan menjadi berlipat ganda karena angin bisa bertiup kapan saja, sehingga keterbatasan waktu yang tidak bisa disuplai energi matahari secara full, dapat disupport oleh tenaga angin. Bila kecepatan rata-rata angin terpenuhi maka daya listrik per bulannya bisa jauh lebih besar dari energi matahari.



### 1) Prinsip Kerja *Charger Controller*

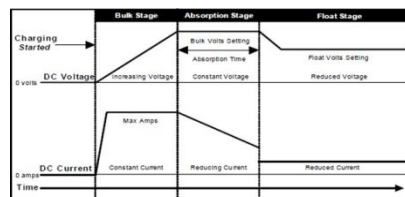
*Solar charge controller*, adalah komponen penting dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya. *Solar charge controller* berfungsi untuk:

- a) *Charging mode*: Mengisi baterai (kapan baterai diisi, menjaga pengisian kalau baterai penuh).
- b) *Operation mode*: Penggunaan baterai ke beban (pelayanan baterai ke beban diputus kalau baterai sudah mulai 'kosong').

### 2) *Charging Mode Solar Charge Controller*

Dalam charging mode, umumnya baterai diisi dengan metoda three stage charging:

- a) *Fase bulk*: baterai akan di-charge sesuai dengan tegangan *setup* (bulk - antara 14.4 - 14.6 Volt) dan arus diambil secara maksimum dari panel surya / *solar cell*. Pada saat baterai sudah pada tegangan *setup* (bulk) dimulailah *fase absorption*.
- b) *Fase absorption*: pada fase ini, tegangan baterai akan dijaga sesuai dengan tegangan bulk, sampai *solar charge controller timer* (umumnya satu jam) tercapai, arus yang dialirkan menurun sampai tercapai kapasitas dari baterai.
- c) *Fase float*: baterai akan dijaga pada tegangan *float setting* (umumnya 13.4 - 13.7 Volt). Beban yang terhubung ke baterai dapat menggunakan arus maksimum dari panel surya / *solar cell* pada *stage* ini.[11]



**Gambar 2.32** Arus maksimum panel surya

(Sumber :<http://www.panelsurya.com/index.php/id/solar-controller/12-solarcharge-controller-solar-controller>)



### 2.3.5 MCB

MCB merupakan kependekan dari *Miniature Circuit Breaker*, Biasanya MCB digunakan oleh pihak PLN untuk membatasi arus serta pengaman Instalasi listrik. MCB berfungsi sebagai pengaman hubungan singkat/korselet serta mempunyai fungsi pengaman beban lebih, MCB otomatis akan memutuskan arus bila arus yang melewatinya melebihi batas nominal yang telah ditentukan pada MCB tersebut, nominal arus MCB adalah 1A, 2A, 4A, 6A, 10A, 16A, 20A dan lain sebagainya. Nominal MCB ditentukan dari besarnya arus yang bisa MCB hantarkan, satuan dari arus adalah Ampere. Untuk kedepannya akan saya tulis A. Jadi jika MCB dengan nominal arus 2Ampere maka hanya perlu ditulis 2A.



**Gambar 2.33.** MCB

(Sumber : [http://instlalisilistrik.blogspot.co.id/2014/11/pengertian-dan-fungsi-mcb-mini-circuit\\_11.html](http://instlalisilistrik.blogspot.co.id/2014/11/pengertian-dan-fungsi-mcb-mini-circuit_11.html))

Banyak perangkat yang menggunakan Listrik, mulai dari lampu, AC Dll. Kebanyakan pelanggan PLN di Indonesia masih menggunakan MCB 2A karena banyak pelanggan yang masih menggunakan daya 450VA (Volt Ampere).

Beberapa manfaat (fungsi MCB) adalah sebagai berikut :

- 1) Pengaman hubungan arus pendek

Hubungan arus pendek/konseleting memang seringkali terjadi di Indonesia, Tak jarang rumah atau pasar yang terbakar karena hubungan arus pendek/konseleting. Ada banyak faktor yang menyebabkan konsleting, salah satunya adalah tidak dipasang pengaman hubungan singkat



## 2) Mengamankan beban lebih

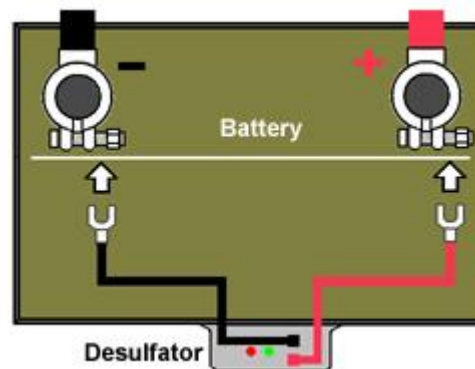
Biasanya pelanggan telah mengontrak listrik dengan PLN, kontraknya adalah berapa catu daya yang dikontrak oleh pelanggan. Misalnya pelanggan mengontrak daya 450, secara otomatis MCB akan trip (putus)

## 3) Sebagai saklar utama

MCB yang terpasang di rumah kita selain berfungsi sebagai pengamanan terjadinya konslet dan beban lebih juga bias difungsikan sebagai saklar utama instalasi di rumah kita. Jika kita ingin memasang lampu atau memasang stop kontak (*steker*) maka kita hanya perlu menggunakan MCB untuk memutus semua arus listrik di dalam rumah.

### 2.3.6 Desulfator

*Desulfator* adalah peralatan elektronik yang dapat membuat belerang menjadi sifat kebalikannya dan mencegah kerusakan yang disebabkan oleh pengkristalan belerang pada baterai/aki yang baru ataupun menghancurkan Kristal belerang pada baterai/aki yang gagal. Dalam 80% dari kasus kegagalan baterai /aki adalah pengkristalan belerang yang terjadi pada plat baterai.



**Gambar 2.34** Instalasi *desulfator*

(<http://www.electronmedan.net/9-produk/desulfator/2-desulfator>)



- Prinsip kerja *desulfator*

Desulfator menghasilkan modulasi getaran frekuensi yang besar sehingga dapat menghancurkan ikatan-ikatan kovalen yang kuat pada Kristal belerang, melalui energi untuk menghancurkan ikatan ini, sehingga merubah Kristal belerang menjadi ion-ion dan memindahkan mereka dari permukaan didalam battery sehingga merubah *battery* menjadi kapasitas yang sesungguhnya & mempertahankan jangka waktu penggunaan baterai.[13]



**Gambar 2.35** Siklus perubahan zat belerang pada aki

(<http://www.electronmedan.net/9-produk/desulfator/2-desulfator>)

## 2.4 Rumah Kreatif Bukit Asam

Rumah kreatif bukit asam atau juga bisa disebut dengan rumah kreatif BUMN, yang didirikan pada 4 maret 2019 sebagai wujud perhatian dari PT Bukit Asam Tbk untuk meningkatkan pendapatan ekonomi masyarakat sekitar operasi tambang dalam meningkatkan sumber daya masyarakat. Rumah kreatif dibentuk sebagai instansi penyedia pelatihan/pembinaan kewirausahaan serta membimbing masyarakat yang ingin mengembangkan produk/barang dagangan mereka baik itu kerajinan maupun makanan khas. Dengan adanya pembinaan masyarakat sekitaran secara tidak langsung dapat membuka lapangan pekerjaan dan meningkatkan nilai ekonomi daerah. Maka dari itu pelayanan Instansi Rumah kreatif bukit asam haruslah di maksimalkan dengan menambah Pembangkit listrik tenaga surya sebagai sumber daya cadangan agar dapat melayani masyarakat dengan baik.



Adapun beban yang harus di tanggung oleh PLTS agar dapat menyuplai tegangannya yaitu :

Tabel 2.1 Spesifikasi Beban Rumah Kreatif Bukit Asam

Nama Beban	Jumlah	Daya (Watt)	Daya Total (Watt)
Lampu 1	4	20 Watt	80 Watt
Lampu 2	2	15 Watt	30 Watt
Lampu 3	2	10 Watt	20 Watt
Tv Lcd	2	55 Watt	110 Watt
Komputer	1	100 Watt	100 watt
<b>Total Daya</b>			340 Watt

12. Sumisjokartono. 1985, Elektronika Praktis, Jakarta, PT. Multi Media.
13. Electron. 2012 <http://www.electronmedan.net/9-produk/desulfator/2-desulfator> Diakses pada 20 Juni 2019 pukul 17.09 WIB
14. <https://www.tokopedia.com/sinarceria/12v-battery-capacity-meter-tester-kapasitas-baterai-meter-accu-aki> Diakses pada 4 Juli 2019 Pukul 19.02 WIB.



