

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian yang terkait dengan Analisis Teknis dan Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Desa Sumber Makmur Jaya Kecamatan Teluk Belengkong Kabupaten Indragiri Hilir dapat dilihat dari beberapa referensi sebagai berikut :

Ariani dkk (2014) pada penelitian yang berjudul Analisis Kapasitas Dan Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Komunal Desa Kaliwungu Kabupaten Banjarnegara. Berdasarkan data beban di Desa Kaliwungu untuk menentukan kapasitas sistem PLTS. pengurangan emisi, perhitungan biaya dan analisis ekonomi. Analisis ekonomi digunakan untuk mengevaluasi keberlangsungan pengoperasian PLTS. Analisis menggunakan beberapa metode, yaitu NPW (*Net Present Worth*), ACF (*Annual Cash Flow analysis*), B-CR (*Benefit–Cost Ratio analysis*), FW (*Future Worth analysis*), dan PP (*Payback Period*). Perhitungan menggunakan *software* MATLAB 2008 dan hasil penelitian menunjukkan untuk memenuhi beban harian sebesar 8,922 kWh dapat disuplai dari sistem PLTS dengan kapasitas *photovoltaic Array* sebesar 2,85 kWp, baterai sebesar 464,678 Ah, *charge controller* sebesar 60 A, dan inverter sebesar 3500 W. Untuk potensi pengurangan emisi karbon dioksida sebesar 3,640 ton. Nilai NPW sebesar Rp.-266.351.000, ACF sebesar Rp.-23.894.600, FW sebesar Rp.714.063.000, B-CR sebesar 0,38505, dan PP selama 29 tahun.

Rahayuningtyas dkk (2014) pada penelitian ini yang berjudul Studi Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sekala rumah Sederhana di Daerah Perdesaan Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif untuk Mendukung Program Ramah Lingkungan dan Energi Terbarukan. Adapun kebutuhan listrik yang dibutuhkan rumah yaitu, penerangan, Tv dan catu daya, maka rata-rata kebutuhan daya per rumah sebesar 925 Watt. Sehingga membutuhkan 4 buah panel surya ukuran 50 Wp dan 4 buah baterai 12 Volt 100 Ah. Investasi awal yang dibutuhkan sebesar Rp. 13.600.000 dengan biaya per bulan sebesar Rp. 1.133.333. Asumsi pemakaian jangka panjang (20 tahun) maka teknologi PLTS merupakan teknologi yang lebih murah dibandingkan dengan pemakaian generator PLTS sebesar Rp. 21.400.000 sedangkan penggunaan generator sebesar Rp. 29.830.000. Keuntungan dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) cocok

dikembangkan di Indonesia karena beriklim tropis dan bisa digunakan sebagai pengganti pembangkit listrik berbahan bakar fosil yang tidak terbarukan.

Indrawan dkk (2013) pada penelitian ini yang berjudul Perancangan *Photovoltaic Stand Alone* Sebagai Catu Daya pada *Base Transceiver Station Telekomunikasi* di Pulau Nusa Penida. Yang membahas tentang Perancangan PLTS *Stand Alone* untuk BTS pada Telekomunikasi di Pulau Nusa Penida dengan beban BTS sebesar 174,66 kWh diperlukan 45 panel, Hasil perhitungan total kapasitas baterai yaitu 3.800 Ah dan total baterai yang dibutuhkan di BTS Nusa Penida adalah 16 unit. Sedangkan analisis kelayakan investasi PV tanpa baterai Untuk hasil perhitungan NPV bernilai sebesar Rp. 44.442.525, perhitungan PI (*Profitability Index*) yang bernilai 1,08(>1) dan waktu pengembalian modal awal investasi yaitu ke tahun 20. Sedangkan PV dengan baterai Untuk hasil perhitungan NPV bernilai sebesar 27.445.388,73, nilai PI (*Profitability Index*) untuk PV dengan baterai 1,04(>0) dan waktu pengembalian modal awal investasi yaitu ke tahun 22. Dari kedua data diatas menunjukkan bahwa investasi PV, baik PV tanpa baterai dan PV dengan baterai yang dikembangkan di BTS Nusa Penida layak untuk dilaksanakan.

Gustriansyah dkk (2013) pada penelitian ini yang berjudul Studi Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat di Talang Dabuk Kabupaten Banyuasin. Yang membahas tentang Perancangan PLTS Terpusat dengan beban Listrik yang dibutuhkan oleh 83 rumah yang berada Talang Dabuk adalah sebesar 203,52 kWh diperlukan 450 unit panel surya dengan kapasitas per-unit sebesar 330 Wp dengan sudut kemiringan panel 12,84°. Lahan yang dibutuhkan untuk pemasangan rangkaian panel surya tersebut adalah seluas 733,4054 m². Perencanaan PLTS di Talang Dabuk juga membutuhkan, 20 unit BCC dengan kapasitas per-unit sebesar 150 A dengan kapasitas total sebesar 3000 A, 168 unit Baterai dengan kapasitas per-unit sebesar 2 Volt DC dan 800 Ah dengan kapasitas total 48 Volt, 5600 Ah dan 10 unit inverter dengan kapasitas per-unit sebesar 15.000 Watt dengan kapasitas total 150.000 Watt.

Marcellino (2016) pada penelitian ini yang berjudul Perancangan Pemangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat *Off Grid System* Untuk Desa Terpencil. Yang membahas tentang PLTS Terpusat dengan panduan *Australian/New Zealand Standard AS/NZS 4509.2:2010 tentang Stand Alone Power System Part 2: System Design*, dan menghasilkan sistem yang optimal dan handal dengan total kapasitas 75,6 kWp terdiri terdiri 252 modul surya berkapasitas 300 kWp/modul, 3 unit *Solar Charge Controller* (SCC) berkapasitas 28,9 kWp/unit, 1 unit inverter 90 kW, dan 360 unit baterai berkapasitas 1.520 Ah dengan

tegangan 2V. Kemudian dilakukan analisis sistem pembangkit dengan umur proyek 20 tahun menghasilkan total produksi listrik ditahun pertama sebesar 114 MWh/tahun dengan kelebihan energi listrik sebesar 19,1 MWh/tahun. Dengan menghasilkan biaya *Cost Of Energy* (COE) yang rendah yaitu sebesar Rp. 4.903/kWh. Selanjutnya analisis ekonomi menggunakan metode *Life Cycle Cost* (LCC) menghasilkan sebesar Rp.5.502.297.840 selama umur proyek dengan rincian investasi awal Rp.4.824.600.000, biaya investasi lahan sebesar Rp.4.838.300, biaya *Operation and Maintenance* (O&M) Rp.48.246.000 dan biaya *Replacement* Rp. 430.000.000. Sedangkan pada aspek lingkungan melakukan analisa pengurangan emisi CO₂ yaitu sebesar 84.67 ton CO₂ dalam setahun dan selama 20 tahun yaitu sebesar 1.615 ton CO₂.

Dari beberapa penelitian PLTS Sistem Terpusat diatas masih terdapat kekurangan seperti tidak adanya analisis kerugian sistem (*losses system*) dan penambahan beban sebesar 30% (Nasution 2016). Dengan adanya gambaran kerugian sistem (*losses system*), dan penambahan beban sebesar 30%, supaya tidak terjadinya kekurangan daya yang dibutuhkan oleh beban. Dari beberapa penelitian diatas hanya menentukan analisis teknis, ekonomi dan emisi.

Untuk melengkapi beberapa kekurangan dari peneliti terdahulu, Maka peneliti melakukan perancangan manual PLTS Sistem Terpusat dengan menggunakan Standar AS/NZS 4509.2:2010 setelah itu hasil dari perancangan di simulasikan menggunakan perangkat lunak *PV Syst* yang menghasilkan Analisa Teknis, *Losses*, Ekonomi, Emisi, dan Emisi.

2.2 Profil Kabupaten Indragiri Hilir

Secara astronomis, Kabupaten Indragiri Hillir terletak antara 0 36' Lintang Utara dan 1 07' Lintang Selatan, dan antara 104 10'–102 32' Bujur Timur. Berdasarkan posisi geografisnya, Kabupaten Indragiri Hilir memiliki batas-batas: Utara – Kabupaten Pelalawan; Selatan – Kabupaten Tanjung Jabung Barat (Provinsi Jambi); Barat - Kabupaten Indragiri Hulu; Timur - Tanjung Balai Karimun (Provinsi Kepulauan Riau).

Kabupaten Indragiri Hilir terletak pada dataran rendah atau pesisir timur dengan ketinggian < 5 meter di atas permukaan laut. Hal ini mengakibatkan daerah ini menjadi daerah rawa-rawa yang beriklim tropis basah. Akan tetapi, terdapat desa -desa yang merupakan dataran tinggi. Desa-desa tersebut terdapat di Kecamatan Keritang dan

Kemuning. Hal ini menyebabkan lahan pertanian pada daerah tersebut tidak terpengaruh pada air laut.



Gambar 2.1 Peta Kabupaten Indragiri Hilir
(Sumber: BPS Kabupaten Indragiri Hilir 2016)

2.3 Gambaran Umum Kecamatan Teluk Belengkong

2.3.1 Sejarah

Kecamatan Teluk Belengkong adalah salah satu kecamatan pemekaran di Kabupaten Indragiri Hilir berdasarkan Surat Keputusan Gubernur Riau No. 402.4/VIII/1999 tanggal 14 Agustus 1999 dan Peraturan Daerah No. 38 Tahun 2000 tentang pembentukan Kecamatan definitif dalam Kabupaten Indragiri Hilir. Selama menjadi kecamatan definitif yakni tahun 2000 sampai sekarang, Kecamatan Teluk Belengkong telah dipimpin oleh tujuh orang camat.

2.3.2 Geografi dan Iklim

Luas wilayah Kecamatan Teluk Belengkong lebih kurang 499,01 Km² terdiri dari 13 Desa dengan 2 desa tempatan dan 11 desa eks transmigrasi yang merupakan program Transmigrasi pemerintah bekerja sama dengan PT. Pulau Sambu Group (PT.GHS I, GHS II) yang mengelola kelapa hibrida.

Kecamatan Teluk Belengkong merupakan kecamatan pemekaran dari Kateman (dengan ibu kota Sungai Guntung) dan merupakan daerah yang sedang berkembang dengan jarak ±195 km menuju ibu kota Kabupaten Indragiri Hilir dan hanya bisa ditempuh dengan sarana transportasi laut. Keadaan alam Kecamatan Teluk Belengkong pada

umumnya berada pada dataran rendah dan lahan gambut yang ditumbuhi hutan *mangrove*, dan perkebunan kelapa yang dipisahkan oleh sungai dan kanal-kanal buatan. Desa dan dusun yang pada umumnya berada pada lahan gambut yang sangat rentan terhadap kebakaran lahan dan hutan.

2.3.3 Penduduk

Penduduk Kecamatan didominasi oleh suku Jawa dikarenakan 11 desa dari 13 desa merupakan desa eks transmigrasi dari daerah Jawa. Sedangkan 2 desa ditempati suku Banjar, namun cukup banyak juga suku Bugis. Selain ketiga suku tersebut, masih terdapat suku-suku lain seperti suku Melayu yang merupakan penduduk asli, suku Batak yang berasal dari Medan, dan suku-suku lain dalam jumlah kecil. Penduduk Kecamatan Teluk Belengkong pada tahun 2015 berjumlah 17.235 jiwa, mengalami peningkatan sebesar 241 jiwa dari tahun sebelumnya. Rata-rata jiwa per rumah tangga adalah 4 jiwa. Sedangkan kepadatan penduduk di Kecamatan Teluk Belengkong adalah 34,54 jiwa/km².

Bahwa desa yang paling banyak penduduknya dan paling padat adalah desa Gambaran sebesar 4.603 jiwa dengan kepadatan 100,70 jiwa/km². Hal tersebut dikarenakan disana terdapat perusahaan kelapa sawit. Sedangkan desa yang paling sedikit jumlah penduduknya yaitu Sumber Makmur Jaya sebesar 566 jiwa dengan kepadatan penduduk yaitu 24,23 jiwa/km². Berdasarkan seks rasio kecamatan Teluk Belengkong secara keseluruhan adalah 106 (diatas 100) menunjukkan bahwa penduduk laki-laki lebih banyak dari pada penduduk perempuan.

Tabel 2.1 Rata-rata jiwa/ Rumah tangga menurut desa di Kecamatan Teluk Belengkong Tahun 2015

NO	Desa	Penduduk	Rumah Tangga	Rata-rata jiwa / Rumah Tangga
1	Griya Mukti Jaya	695	166	4
2	Tuanggal Rahayu Jaya	977	262	4
3	Hibrida Mulya	879	242	4
4	Beringin Mulya	956	235	4
5	Indra Sari Jaya	1010	259	4
6	Sumber Makmur Jaya	566	182	3
7	Sumber Jaya	876	265	3
8	Hibrida Jaya	651	166	4
9	Sumber Sari Jaya	1099	291	4
10	Kelapa Patih Jaya	1190	254	5
11	Sapta Mulya Jaya	711	172	4
12	Gembaran	4603	1476	3
13	Saka Rotan	3022	745	4
	Jumlah	17235	4715	4

(Sumber: BPS Kecamatan Teluk Belengkong, 2016)

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
- Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

Tabel. 2.2 Seks Ratio Menurut Desa di Kecamatan Teluk Belengkong Tahun 2015

NO	Desa	Penduduk		Seks Ratio
		Laki-Laki	Perempuan	
1	Griya Mukti Jaya	364	331	110
2	Tuanggal Rahayu Jaya	514	463	111
3	Hibrida Mulya	486	393	124
4	Beringin Mulya	488	468	104
5	Indra Sari Jaya	507	503	101
6	Sumber Makmur Jaya	330	236	140
7	Sumber Jaya	436	440	99
8	Hibrida Jaya	317	334	95
9	Sumber Sari Jaya	568	531	107
10	Kelapa Patih Jaya	582	608	96
11	Sapta Mulya Jaya	380	331	115
12	Gembaran	2191	2412	91
13	Saka Rotan	1686	1336	126
Jumlah		8849	8386	106

(Sumber: BPS Kecamatan Teluk Belengkong, 2016)

2.4 Potensi Energi Surya

Dilihat dari letak geografis berdasarkan Google Earth®, kawasan Desa Sumber Makmur Jaya berada pada 0°32 Lintang Utara, 103°29 Bujur Timur. Pengambilan data potensi energi surya bersumber dari *Surface Meterology and Solar Energy* (SMSE) milik NASA. Data yang diakses pada SMSE berdasarkan koordinat Desa Sumber Makmur Jaya yaitu data radiasi matahari (kWh/m²/hari) dan data *clearning indeks*.

2.5 Studi Beban Listrik

Studi beban listrik dalam penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu membuat daftar beban listrik dan membuat profil beban listrik. Sumber data studi beban listrik diperoleh dengan melakukan wawancara dan pengisian kuisioner secara langsung dari setiap responden, yang merupakan anggota dari kelompok pengguna yang menjadi sampel dalam penelitian ini.

Studi beban listrik mengacu pada teori yang dikemukakan oleh Sugiyono tentang pengambilan sampel menggunakan teknik *probability sampling*. *Probability sampling* merupakan teknik pengambilan sampel yang memberikan peluang yang sama bagi setiap anggota populasi untuk dipilih menjadi anggota sampel (Sugiyono, 2010).

Dalam teknik *probability sampling* terbagi beberapa teknik untuk menentukan jumlah sampel, dan ada beberapa macam teknik dalam *probability sampling* salah satunya adalah teknik *simple random sampling*. Dengan teknik ini pengambilan data dilakukan secara acak tanpa memperhatikan strata yang ada dalam suatu populasi karena populasi dianggap homogen, dan jumlah sampel 10% saja sudah cukup mewakili (Sugiyono, 2010).

2.1 Estimasi Kebutuhan Beban

Dalam perancangan suatu pembangkit listrik harus memperkirakan permintaan beban yang tepat. Perkiraan permintaan beban secara sederhana bisa dilakukan dengan mengalikan jumlah pengguna dengan rata-rata estimasi penggunaan listrik per pengguna. Namun, pendekatan ini tidak benar-benar cukup karena memiliki tingkat akurasi yang rendah untuk pedesaan yang besar. Sebaliknya, lebih baik untuk menggabungkan estimasi permintaan listrik masing-masing calon pengguna, seperti rumah tangga, bangunan sosial, dan layanan ekonomi (ARE, 2011). Memperkirakan permintaan listrik membutuhkan usaha yang intensif ketika observasi langsung kelapangan dari pintu ke pintu (*door to door*). Dua faktor penting dalam perencanaan listrik pedesaan, yaitu kesediaan pengguna untuk terhubung ke akses listrik yang akan dibangun dan konsumsi peralatan listrik yang akan digunakan ketika terhubung ke akses listrik (ARE, 2011).

2.6 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

2.6.1 Pengertian Pembangkit listrik Tenaga Surya

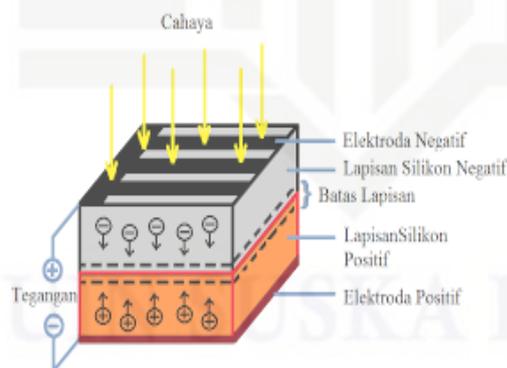
Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan pembangkit yang menghasilkan listrik melalui konversi energi foton dari matahari (surya). Ini terjadi melalui modul surya yang terdiri sel-sel surya. Listrik yang dihasilkan oleh modul berupa listrik DC (*Direct Current*) yang harus diubah menjadi AC (*Alternating Current*) melalui inverter. Pembangkit Listrik Tenaga Surya bisa dirancang dalam skala kecil maupun besar hal ini bisa dirancang dalam bentuk sistem terpusat, sistem terkoneksi maupun sistem hibrida. (Hannaj,2012)



Gambar 2.2 Contoh paparan PLTS
(Sumber: Putra, 2016)

2.6.2 Prinsip Kerja Sel Surya

Semikonduktor terbuat dari bahan silikon yang disusun dua lapis bahan semikonduktor dengan berbeda muatan, muatan positif terletak dilapisan bawah sedangkan negatif dilapisan atas, yang disebut dengan sel surya. Ketika sinar matahari menyentuh permukaan sel surya maka foton dari sinar matahari diserap oleh atom semikonduktor untuk melepaskan elektron dari ikatan atomnya sehingga elektron bergerak bebas yang mengakibatkan terjadinya arus listrik. (Quaschnig, 2005, pada hannaj,2012)



Gambar 2.3 Prinsip kerja sebuah sel surya
(Sumber: Putra, 2015).

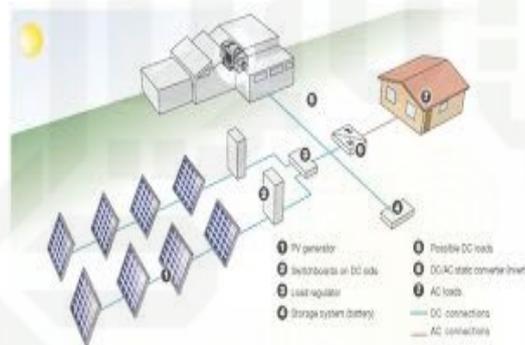
2.7 Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya merupakan contoh berbagai macam Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-

masing pembangkit. Secara umum Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya dibagi menjadi tiga bagian, sebagai berikut: (Putra 2015)

2.7.1 Sistem Terpusat (*Off-Grid*)

PLTS Terpusat (*Off grid*) adalah suatu Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya yang digunakan di daerah jauh dari jangkauan jaringan PLN pusat atau di daerah perdataman. Sistem PLTS Terpusat harus menyesuaikan kebutuhan listrik yang dibutuhkan. Secara umum konfigurasi PLTS sistem terpusat dapat dilihat seperti blok diagram dibawah ini:



Gambar 2.4 Prinsip kerja PLTS terpusat (Sumber: Nasution, 2016)

Sistem PLTS terpusat memiliki modul surya sebagai sumber listrik DC yang dihasilkannya, dan disimpan didalam baterai melalui *Solar Charge Controller* supaya jangan terjadinya kelebihan pengisian. Selanjutnya energi yang sudah tersimpan dalam baterai siap untuk menyuplai beban melalui inverter. Inverter adalah mengubah arus DC menjadi AC.

2.7.2 Sistem Terkoneksi (*On-Grid*)

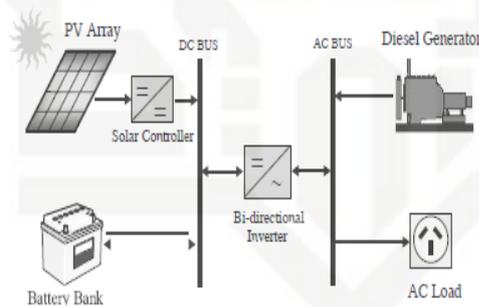
PLTS sistem terkoneksi (*On Grid*) adalah sistem terkoneksi dengan jaringan PLN pusat. Sistem ini merupakan solusi untuk masyarakat yang tinggal di perkotaan baik untuk perumahan/perkantoran. Dengan adanya sistem ini sangat membantu mengurangi tagihan listrik rumah tangga dan juga bebas emisi.



Gambar 2.5 Prinsip Kerja PLTS *On-Grid*
 (Sumber: Nasution, 2016)

2.7.3 Sistem Hybrid

Sistem *Hybrid* merupakan sistem yang menggunakan dua pembangkit atau lebih pembangkit listrik sistem ini biasanya menggunakan genset, PLTS, Mikrohidro, dan tenaga angin. sistem Hybrid ini juga bisa disebut gabungan dua pembangkit seperti PLTS-Genset, PLTS-Mikrohidro, PLTS-tenaga angin. Namun di Indonesia Sistem *Hybrid* yang banyak digunakan adalah PLTS-Genset.



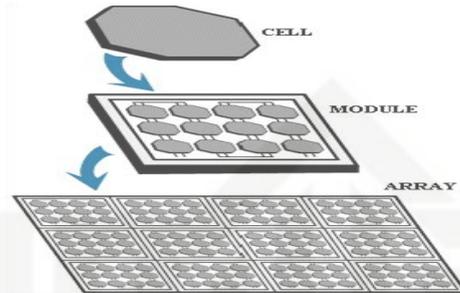
Gambar 2.6 Prinsip Kerja PLTS *Hybrid*
 (Sumber: Nasution, 2016)

2.8 Komponen-Komponen PLTS

Adapun beberapa komponen-komponen yang dimanfaatkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Surya pada umumnya, yaitu:

2.8.1 Modul (Panel) Surya

Modul surya adalah gabungan beberapa sel surya yang dihubungkan secara seri maupun paralel dan berfungsi mengubah cahaya matahari menjadi listrik. Gabungan beberapa modul biasanya disebut *Array*.



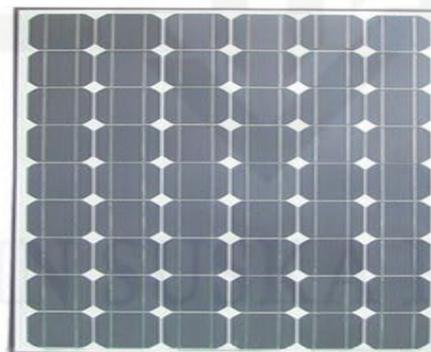
Gambar 2.7 Hubungan sel surya, panel surya dan array
(Sumber: Putra, 2016)

2.8.1.1 Jenis-Jenis Modul

Adapun beberapa jenis Modul Surya yang dijual di pasaran saat ini, sebagai berikut: (Narayana, 2010 pada, Santiari, 2011).

a. Monokristal Silikon (*Mono-crystalline Silicon*)

Monokristal Silikon adalah modul yang mempunyai efisien yang tinggi dan harga juga cukup tinggi. Monokristal ini memiliki efisien sebesar 16-25 %.



Gambar 2.8 Modul Monokristal Silikon
(Sumber: Putra, 2015)

b. Polikristal Silikon (*Poly-crystalline Silicon*)

Polikristal Silikon adalah modul yang memiliki efisien sebesar 14-16% dengan susunan kristal acak .



Gambar 2.9 Modul Polikristal Silikon
 (Sumber : Putra, 2015)

c. Amorphous Silicon

Amorphous Silicon adalah modul yang paling rendah efisiensinya sebesar 9-10,4% dengan harga relatif rendah .



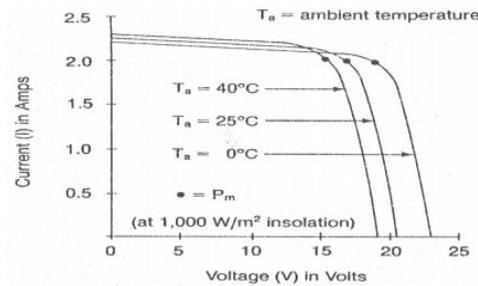
Gambar 2.10 Modul *Amorphous Silicon*
 (Sumber: Putra, 2015)

2.8.1.2 Yang Mempengaruhi Modul

Pengoperasian modul surya dalam menyerap sinar matahari yang menghasilkan listrik juga dipengaruhi beberapa faktor, sebagai berikut:

a. Suhu (Faktor Koreksi Temperatur)

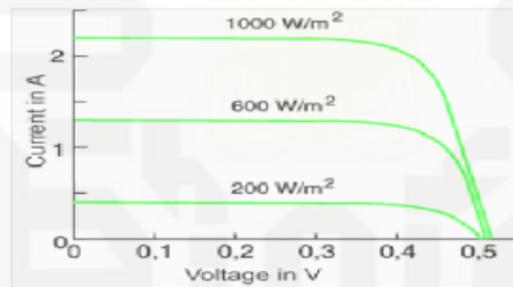
Faktor koreksi temperatur (*Temperature Correction Factor*, TCF) adalah suhu/temperatur yang mempengaruhi hasil listrik yang dihasilkan modul surya. Temperatur normal atau tetap yang diterima modul surya 25 C. Kenaikan temperatur semakin tinggi akan mengakibatkan melemahnya tegangan (Voc) yang dihasilkan. Setiap temperatur naik 1C dari 25 C akan berkurangnya daya yang dihasilkan sebesar 0,5% (Foster dkk,2010 pada Santiari,2012). Menurut standar Australia AS 4509.2-2002 *Temperature Correction Factor*(TCF) di asumsikan sebesar 98% .



Grafik 2.1 Pengaruh temperatur terhadap panel
 (Sumber: Hanna, 2012)

b. Intensitas Cahaya Matahari

Intensitas cahaya matahari akan mempengaruhi listrik yang dihasilkan modul surya, semakin tinggi arus (I_{sc}) yang dihasilkan modul maka semakin tinggi intensitas cahaya yang dibutuhkan (Hanna, 2012). Hal ini bisa dilihat gambar grafik dibawah ini:



Grafik 2.2 Pengaruh intensitas cahaya matahari pada modul surya
 (Sumber: Hanna, 2012)

c. Orentasi Modul Surya

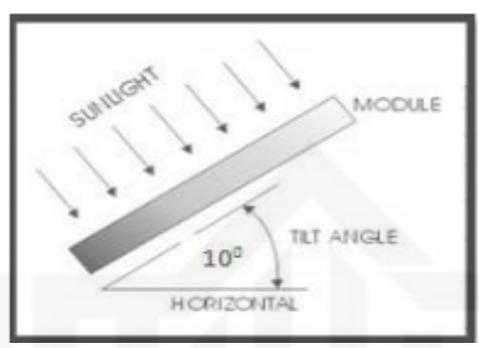
Orentasi modul surya adalah letak atau posisi modul surya yang baik untuk menghasilkan intensitas cahaya maksimum. Rangkaian modul surya ke arah datangnya sinar matahari adalah penting untuk diperhatikan dengan baik. Misalnya untuk daerah yang terletak dibagian lintang selatan bumi diharuskan modul sury menghadap condong ke arah utara untuk menghasilkan cahaya yang maksimum (Hanaj, 2012).

d. Sudut Kemiringan Modul Surya

Menentukan sudut kemiringan modul surya sangat penting karena bertujuan untuk mengoptimalkan produksi energi listrik yang dihasilkan modul surya. Sesuai

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

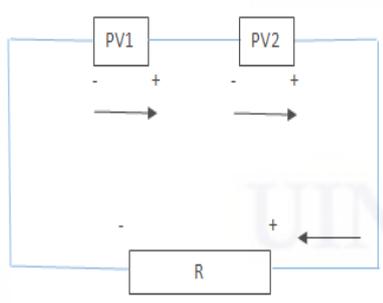
dengan rekomendasi dari AS 4509-2002 dianjurkan sudut kemiringan sebesar 10° karena memaksimalkan melakukan pembersihan pada saat air hujan. Dan dapat dilihat pada gambar



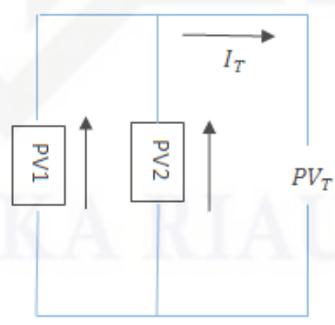
Gambar 2.11 sudut kemiringan modul surya (Sumber: AS 4509-202)

e. Rangkaian Seri dan Paralel

Rangkaian seri adalah suatu rangkaian yang dihubungkan secara rantai dengan berbentuk lurus mempunyai nilai arus yang sama dan tegangan yang berbeda, sedangkan rangkaian paralel adalah suatu rangkaian yang dihubungkan secara rantai dengan berbentuk tingkatan-tingkatan mempunyai nilai arus yang berbeda dan tegangan yang sama. Adapun gabungan dari rangkaian seri dan paralel dengan nama kombinasi rangkaian seri dan paralel.



Gambar 2.12 Rangkaian Seri



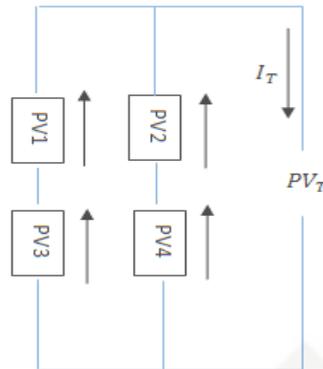
Gambar 2.13 Rangkaian Paralel

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.14 Kombinasi Seri dan Paralel

2.8.2 Solar Charge Controller

Charge Controller atau *Solar Charge Controller (SCC)* atau *Battery Charge Regulator (BCR)* atau *Baterai Charge Unit (BCU)*, adalah komponen dalam PLTS. Fungsi dari *Charge Controller* adalah sebagai berikut (Nasution, 2016):

1. Charging mode

Charging mode berfungsi Sebagai pengisian arus searah (DC) yang masuk dari PV Array ke baterai supaya tidak terjadinya *over charging* dan *over voltage*, dan juga mengendalikan pengisian ke baterai. Jika baterai dalam keadaan kosong, maka SCC akan mengisi listrik ke baterai sebanyak-banyaknya. Dan sebaliknya, saat baterai mencapai dalam keadaan penuh, maka SCC akan mengatur pola pengisian dengan arus sedikit untuk menjaga tegangan baterai (*floating*) dan jika sudah terisi penuh maka SCC akan menghentikan arus listrik yang masuk ke dalam baterai untuk mencegah *over-charge*, supaya ketahanan baterai akan jauh lebih tahan lama.

2. Load operation mode

Sesudah baterai terisi penuh maka terjadilah perubahan fungsi menjadi *Load operation mode*. Perubahan ini terjadi di saat malam hari, cuaca buruk atau mendung yang mengakibatkan terhalangnya radiasi matahari ke PV Array, maka baterai akan mensuplai energi listrik ke beban jika kondisi permintaan beban melebihi hasil produksi dari PV Array. Saat tegangan baterai dalam keadaan hampir kosong, maka SCC berfungsi untuk mematikan arus listrik dari baterai ke beban dalam kondisi tegangan baterai sekitar 10%. Hal ini dikarenakan untuk menjaga baterai dan mencegah kerusakan pada sel-sel baterai.

3. Memonitor Sistem PLTS

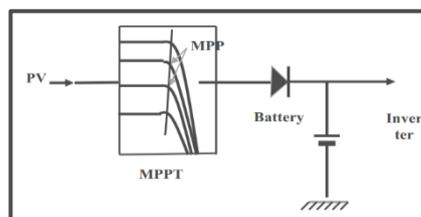
Adapun SCC yang dilengkapi dengan indikator yang lengkap, tergantung tipe-tipe SCC nya. Supaya memudahkan memonitor berbagai macam kondisi yang terjadi pada PLTS supaya dapat terdeteksi dengan baik. SCC teknologi *Pulse Width Modulation* (PWM) dan *Maksimum Power Point Tracker* (MPPT) merupakan SCC yang lebih canggih, menyesuaikan tingkat pengisian baterai yang tergantung pada tingkat radiasi matahari selama 4 sampai dengan 5 jam dan untuk memungkinkan pengisian lebih dekat dengan kapasitas maksimum. SCC juga dapat memonitor suhu baterai untuk mencegah *over heating*. SCC harus dipilih yang lulus tes kualifikasi dan memenuhi persyaratan teknis dalam pemakaiannya. Persyaratan teknis dalam penggunaan SCC antara lain sebagai berikut :

- a. Kapasitas maksimum *input* dan *output*
- b. Mempunyai tegangan batas bawah dan batas atas terhadap pemutusan baterai
- c. Konsumsi diri yang sangat kecil
- d. Mempunyai proteksi hubung singkat dan beban lebih
- e. Tegangan jatuh yang kecil ($< 0,5$ V) pada sisi PV Array ke baterai dan pada sisi baterai ke beban

Mempunyai *Blocking Diode* dan sesuai dengan kapasitas maksimum kapasitas maksimum *input* dan *output*.

2.8.2.1 Solar Charge Control Maximum Power Point Tracking (MPPT)

MPPT adalah mengatur keluaran (*output*) dari PV Array agar selalu berada pada titik yang maksimal dan juga mengatur daya pengisian baterai. MPPT juga mengatur ketidaksesuaian antara tegangan PV Array tegangan kerja baterai. Mempunyai efisiensi yang tinggi, teknologi cukup rumit dan biayanya relatif mahal dari tipe-tipe regulator yang lain. Rangkaian MPPT Regulator bisa dilihat seperti pada gambar 2.21



Gambar 2.15 Rangkaian MPPT Regulator
(Sumber: Nasution, 2016)

2.8.2.2 Kriteria *Solar Charge Controllel* MPPT

Solar Charge Controllel MPPT secara signifikan dapat meningkatkan daya lebih dari 30%. Kriteria *Solar Charge Controllel* MPPT sebagai berikut:

1. Dapat dilihat pada *output* PV Array dan membandingkannya dengan tegangan baterai
2. Dapat dilihat pada *display* monitor kemampuan terbaik pada PV Array untuk dapat mengisi baterai. Ini dibutuhkan ini dan mengkonversi ke tegangan terbaik untuk mendapatkan *ampere* maksimal ke dalam baterai
3. MPPT paling modern memiliki efisiensi dalam konversi adalah sekitar 92 – 97%
4. Memiliki kualitas *Ampere*, hal merupakan yang paling penting dalam pengisian
5. Ketika MPPT menilai baterai hampir habis kemudian MPPT mengubah tegangan ekstra untuk *Ampere*

Adapun gambar *Solar Charge Controllel* MPPT sebagai berikut:



Gambar 2.16 *Solar Charge Controllel* MPPT
(Sumber: Nasution, 2016)

2.8.3 Baterai

Baterai adalah suatu komponen yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik dari modul surya yang dihasilkan pada siang hari untuk dipergunakan pada malam harinya. Adapun siklus pengisian dan pengosongan baterai ini tergantung keadaan cahaya matahari, apabila listrik yang dihasilkan modul surya melebihi kebutuhan beban (keadaan cahaya matahari cerah) maka energi tersebut akan dipergunakan untuk pengisian baterai dan apabila listrik yang dihasilkan modul surya kurang dari kebutuhan beban (keadaan matahari redup) maka energi disuplai dari baterai. Ketentuan untuk mengatasi kedalaman kekosongan pada baterai berfungsi untuk menjaga usia pakai pada baterai. Misalnya DOD (*Depth of Discharge*) 80%. Berarti hanya 80% energi yang harus digunakan dan 20% tetap didalam cadangan. (Santiari, 2011)

2.8.3.1 Fungsi Baterai

Adapun fungsi pada baterai menurut Nasution, 2016. Sebagai berikut:

1. Baterai digunakan sebagai alat penyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh PV *Array* diwaktu matahari bersinar.
2. Untuk membantu PV *Array* untuk mencukupi kebutuhan beban pada saat cuaca mendung.
3. Untuk menyimpan kelebihan daya yang dihasilkan oleh PV *Array*
4. menghasilkan energi listrik.

2.8.3.2 Jenis Baterai

Baterai terdiri dari beberapa elemen atau sel yang terhubung seri. Pada umumnya ada dua jenis baterai yang digunakan untuk PLTS, yaitu: *lead acid battery* dan *nickel cadmium battery*. Kedua jenis baterai tersebut memiliki komponen yang hampir sama, hanya saja berbeda dalam jenis elektroda yang dipakai dan jenis elektrolit yang digunakan untuk membangkitkan reaksi elektrokimia. *Lead acid battery* menggunakan lempengan yang terbuat dari *lead*, dan sebagai elektrolitnya digunakan H_2SO_4 (asam sulfur) yang sama seperti pada ACCU serta memiliki efisiensi 80%. Sedangkan *nickel cadmium battery* menggunakan *cadmium* sebagai elektroda negatif dan nikel sebagai elektroda positif sedang elektrolitnya dipakai *potassium hidroksida* dan memiliki efisiensi 70% (Putra, 2015).

Menurut bentuk struktur baterai dikelompokkan terdiri dari dua jenis sebagai berikut (Nasution, 2016):

1. *Starting Battery*

Starting battery merupakan sebuah sel listrik dimana didalamnya berlangsung proses elektrokimia yang reversibel (dapat berbalik) dengan efisiensinya yang tinggi, yang dimaksud dengan proses *elektrokimia reversible* adalah di dalam baterai dapat berlangsung proses pengubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan), dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia, pengisian kembali dengan cara regenerasi dari elektroda – elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah (polaritas) yang berlawanan di dalam sel. Kontruksi baterai stater didalam wadahnya terdapat elektrolit asam sulfat, elektroda positif dan negatif dalam bentuk plat. Plat-plat tersebut dibuat dari timah atau berasal dari timah, karena itu baterai tipe ini sering disebut baterai timah.

Ruangan didalamnya dibagi menjadi beberapa sel (biasanya 6 sel, untuk baterai mobil) dan didalam masing-masing sel terdapat beberapa elemen yang terendam didalam elektrolit (Nasution, 2016). Adapun contoh gambar *Starting Battery* sebagai berikut:



Gambar 2.17 *Starting Battery*
 (Sumber: Nasution, 2016)

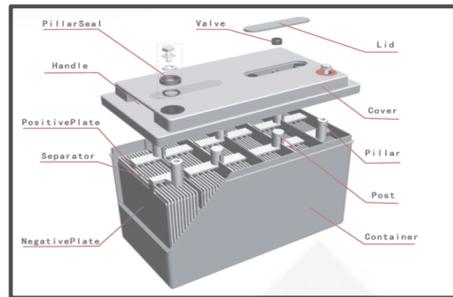
2. *Deep Cycle Battery*

Deep cycle battery adalah baterai yang dirancang untuk menghasilkan energi arus listrik yang stabil tidak sebesar *starting battery* namun dalam waktu yang lama. Baterai jenis ini tahan terhadap siklus pengisian-pengosongan baterai yang berulang-ulang. *Deep cycle battery* karena konstruksinya menggunakan pelat yang lebih tebal dan memungkinkan untuk melepaskan energi dalam selang waktu yang panjang. *Deep cycle battery* tidak dapat melepaskan energi listrik secepat dan sebesar *starting battery*. Semakin tebal pelat baterai semakin panjang usia baterai yang dapat diharapkan. Jenis ini juga digunakan pada proyek energi alternatif untuk menyimpan arus listrik seperti pada pembangkit listrik tenaga surya dan pembangkit listrik tenaga angin. Jenis-jenis *deep cycle battery* terdiri dari *Valve Regulated Lead Acid Battery (VRLA)*, *Gel Cells Battery* dan *Absorbent Glass Mat Battery* (Nasution, 2016)

a. *Valve Regulated Lead Acid Battery (VRLA)*

Baterai VRLA adalah baterai yang tertutup rapat dan dilengkapi dengan sebuah *valve* atau katub, yang akan terbuka jika tekanan gas hasil elektrolisa air melebihi suatu nilai tekanan tertentu, untuk melepaskan gas keluar dari box. Box baterai VRLA tidak mempunyai penutup sel, dan bekerja pada tekanan konstan 1-4 psi. Tekanan ini membantu mengembalikan 99% hydrogen dan oksigen yang terbentuk pada proses pengisian untuk kembali menjadi air. Jadi pada baterai VRLA tidak memungkinkan untuk dilakukan penambahan air. Jenis VRLA yang paling umum adalah Gel VRLA dan AGM VRLA. Seperti

ditunjukkan pada gambar 2.18 mengenai konstruksi baterai VRLA (Nasution, 2016).



Gambar 2.18 *Valve Regulated Lead Acid Battery* (VRLA)
(Sumber: Nasution, 2016)

b. *Gel Cells Battery*

Baterai Gel VRLA merupakan baterai VRLA dengan elektrolit *gelified* asam sulfat dicampur dengan silika, yang membuat massa yang dihasilkan menyerupai gel dan bisa bergerak. Berbeda dengan *flooded* baterai sel basah timbal asam, baterai ini tidak perlu disimpan tetap tegak. Baterai gel mengurangi penguapan elektrolit, tidak tumpah dan tanpa korosi dengan resistensi yang lebih besar untuk shock dan vibrasi. Kimia baterai gel VRLA basah baterai (*non-sealed*) sama kecuali bahwa *antimon* dalam lempeng timbal timbal digantikan oleh kalsium, dan rekombinasi gas dapat berlangsung. Baterai Gel VRLA disebutkan baterai OPzV merupakan baterai konstruksi sel tunggal dengan tegangan nominal adalah 2 Volt. Misalkan kita mengambil OPzV2-200 berarti baterai Gel OPzV tersebut mempunyai tegangan 2 Volt dan 200Ah. Baterai ini dilengkapi dengan lempeng tubular positif. Grid positif yang dibuat oleh die-casting teknik dengan tekanan 18 MPa dan struktur silinder lebih kompak dan memberikan ketahanan terhadap korosi baik pada kondisi ekstrim siklus usia baterai didesain lebih lama dari 20 tahun (Nasution, 2016).

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.



Gambar 2.19 Gel Cells Battery
(Sumber: Nasution, 2016)

c. Absorbent Glass Mat Battery (AGM)

Bedanya dengan baterai VLA, baterai ini tidak memiliki ventilasi gas. pada jenis baterai AGM elektrolit berada sebuah material glass mat, kemasannya tertutup rapi sehingga tidak ada senyawa atau bahan yang dapat keluar atau masuk baterai, oleh karena itu baterai ini tidak memerlukan perawatan lebih, tapi sekali baterainya terbuka dan isinya bocor. Kelebihan dari baterai ini adalah lebih fleksibel untuk penempatan baterai dan pengiriman, tidak memerlukan maintenance, memiliki ketahanan lebih pada discharge yang lebih tinggi, internal *resistance* lebih kecil, *self discharge* lebih rendah dan kekurangannya rentan terhadap *overcharge*, harga lebih mahal, tidak cocok di temperatur tinggi, umur lebih pendek (Nasution, 2016).



Gambar 2.20 Gel Cells Battery
(Sumber: Nasution, 2016)

2.8.4 Inverter

Inverter adalah peralatan elektronika yang berfungsi merubah arus listrik searah (*direct current*) dari modul surya atau baterai menjadi arus bolak balik (*alternating current*) dengan frekuensi 50/60Hz. Untuk memilih inverter tergantung pada keadaan beban dan sistem yang digunakan apakah sistem terhubung dengan jaringan atau sistem

berdiri sendiri. Adapun efisiensi inverter sebesar 90% (Santiari, 2011 pada Foster dkk, 2010). Adapun salah satu contoh gambar inverter dibawah ini:



Gambar 2.21. Inverter
(Sumber: Nasution, 2016)

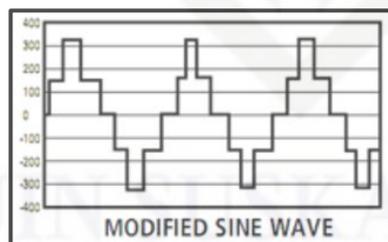
2.8.4.1 Jenis-Jenis Inverter

Inverter terbagi dua jenis yaitu berdasarkan bentuk gelombang dan inverter *bidirectional*. Hal ini bisa dijelaskan Jenis-jenis inverter, sebagai berikut (Nasution, 2016):

1. Inverter Berdasarkan Bentuk Gelombang

a. Inverter *Modified sine wave*

Gelombang ini berbentuk sinus persegi dengan efisiensi yang rendah sebesar < 80% dan konsumsi daya sangat besar, namun memiliki harga yang relatif murah dan banyak dijual di pasaran. Inverter jenis ini tidak cocok digunakan dengan alat-alat listrik yang menggunakan motor listrik, yaitu pompa, kipas angin dan lain-lain. Adapun gambar gelombang *Inverter Modified sine wave* sebagai berikut:

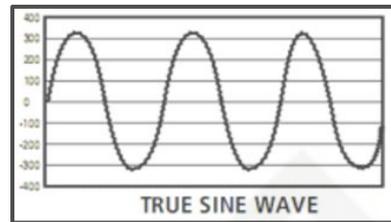


Gambar 2.22 Inverter *Modified Sine Wave*
(Sumber: Nasution, 2016)

b. Inverter *Pure* atau *Ture Sine Wave*

Gelombang ini hampir berbentuk sinus yang sempurna, dengan efisiensi cukup tinggi yaitu > 80% hal ini mengakibatkan konsumsi daya yang rendah. Namun memiliki harga yang cukup mahal dengan kapasitas > 1 KW. Inverter ini sangat

cocok digunakan seperti alat-alat listrik yang menggunakan motor listrik. Adapun gambar gelombang *Inverter Pure* atau *True Sine Wave*.



Gambar 2.23 Inverter *Pure* atau *True Sine Wave*
(Sumber: Nasution, 2016)

c. Inverter *Bidirectional*

Inverter *Bidirectional* memiliki kemampuan ganda yang bisa mengubah arus DC ke AC dan juga mengubah arus AC ke DC. Ini terjadi saat inverter *Bidirectional* berfungsi sebagai *rectifier (charger)* yaitu terjadi pada saat siang hari, saat daya yang dihasilkan PV Array lebih besar dari beban maka inverter akan mengubah arus AC dari *output inverter* menjadi tegangan DC baterai. Sedangkan fungsi inverter saat malam hari dengan mengubah arus DC baterai menjadi AC yang disuplai ke beban.

2.8.4.2 Konsep Hubungan Inverter

Konsep hubungan inverter menjelaskan tentang bentuk rangkaian inverter pada suatu sistem PLTS terhadap pembangkitan daya listrik oleh panel surya, dan hubungan antara inverter dengan beban atau jaringan. Secara umum ada dua kelas inverter yaitu, inverter sentral atau disebut *central inverters* dan *string inverters* (Putra, 2015).

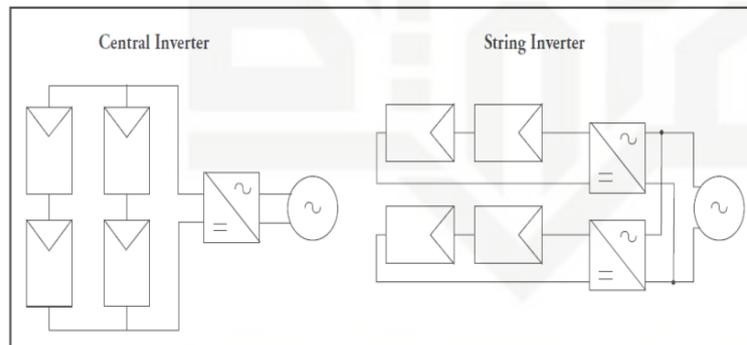
1. Inverter Sentral (*Central Inverters*)

Inverter sentral (*central inverters*) biasanya digunakan pada berbagai sistem PLTS skala menengah dan skala besar. Central inverters menyajikan instalasi yang lebih handal dan sederhana, namun memiliki kekurangan yaitu ketidaksepadanan rugi-rugi (*mismatch losses*) meningkat yang disebabkan variasi profil tegangan dan arus dari modul surya pada *array* yang sama, dan ketiadaan dari *maximum power point tracking* (MPPT) untuk setiap *string*. Hal ini mungkin menyebabkan masalah pada *array* yang memiliki kemiringan dan sudut orientasi beragam, berkaitan dengan radiasi, bayangan atau tipe modul surya yang berbeda. Central *inverters* biasanya

merupakan sistem tiga fasa dan dilengkapi transformator frekuensi jaringan (*grid frequency transformer*). Selain itu *central inverters* menggunakan konfigurasi master *slave* yaitu beberapa inverter tidak akan bekerja padam ketika iradiasi dalam keadaan rendah, sedangkan inverter lainnya tetap bekerja mendekati pembebanan yang optimal. Ketika radiasi tinggi, semua beban dibagikan dan ditanggung oleh semua inverter (Putra, 2015).

2. *Inverter String*

Inverter string menggunakan *inverter* yang berlipat ganda untuk *string array* yang berlipat ganda juga. Penggunaan *inverter string* sangat banyak dan meningkat karena *inverter string* dapat mengatasi batasan daya yang luas dan lebih murah dalam proses pabrikasinya daripada jenis *central inverters*. Sistem ini sangat cocok untuk kondisi modul surya yang tidak bisa dipasang pada orientasi yang sama, berbeda spesifikasi, atau perbedaan radiasi yang diterima. Sistem ini memiliki kelebihan yaitu lebih mudah dalam perbaikan dan penggantian, karena tidak diperlukan personil dan spesialis, dan waktu yang dibutuhkan tidak selama sistem sentral, jadi tidak banyak hasil produksi energi yang terbuang saat perbaikan (Putra, 2015).



Gambar 2.24 Konfigurasi *Inverter*
 (Sumber: Putra , 2015)

2.9 Pedoman Pembangunan PLTS Terpusat

Adapun pedoman/keriteria dalam pembangunan PLTS Terpusat, yaitu diantaranya sebagai berikut (KESDM Nomor:1122 K/30/MEN/2002):

A. Kriteria pengusulan lokasi PLTS terpusat:

1. Lokasi yang diajukan letaknya jauh dari jangkauan jaringan distribusi PLN dan usulan yang diterima dengan menyertakan data-data jarak lokasi (desa) ke

jaringan distribusi PLN akan menjadi bahan pertimbangan untuk mendapatkan prioritas.

2. Pengguna/penerima tinggal berkelompok atau jarak antar rumah satu dengan yang lainnya letaknya berdekatan dan jumlahnya relatif besar, paling sedikit 30 kepala keluarga (KK) per kawasan/kelompok (prioritas akan diberikan untuk kelompok penerima/pengguna lebih dari 100 KK/kawasan)
3. Dalam jangka waktu tertentu (misalnya 5 s.d 10 tahun ke depan) belum dapat terlayani melalui jaringan distribusi PLN.
4. Diutamakan dapat memenuhi seluruh kebutuhan masyarakat di lokasi (desa) yang diajukan atau paling sedikit memenuhi 2/3 (dua pertiga) jumlah kepala keluarga (KK) yang ada agar dapat dilanjutkan ke program desa mandiri energi.
5. Pengguna/penerima membentuk lembaga pengelola PLTS terpusat secara mandiri, yang keanggotaannya dipilih secara musyawarah oleh masyarakat setempat, yang selanjutnya akan bertugas memungut iuran dari masyarakat pengguna untuk perawatan perangkat dan penggantian komponen-komponen yang tidak berfungsi lagi setelah masa garansi usai (umur teknis komponen sudah tercapai), misalnya penggantian lampu, baterai, dan lainnya.
6. Usulan/proposal pengguna/penerima manfaat listrik (sampai ke tingkat desa) harus direkomendasikan oleh pemerintah daerah atau tokoh masyarakat setempat.

B. Spesifikasi teknis modul surya

1. Jenis : *poly/mono-crystalline*
2. *Power tolerance* per modul : $\pm 5\%$
3. J-box : dilengkapi dengan *cable gland* atau
4. *DC-multi connector*
5. Sertifikat : SNI
6. Garansi : paling sedikit 10 tahun untuk degradasi *output* $< 10\%$
7. Efisiensi : paling sedikit 14%
8. Memprioritaskan penggunaan peralatan produk dalam negeri yang dibuktikan dengan melampirkan salinan tanda sah capaian Tingkat Komponen Dalam Negeri (TKDN) yang diterbitkan oleh Kementerian Perindustrian.
9. Diproduksi di pabrik yang memiliki sertifikat ISO 9001 dan melampirkan sertifikatnya.

- Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

10. Label *data performance* modul di tempel di bagian belakang modul.

11. Pengujian modul surya mengikuti SNI 04-3850.2-1995: karakteristik modul surya *fotovoltaik*.

C. Penyangga modul surya (*modul array support*)

1. Bahan dan *treatment* : plat besi, besi siku dan atau pipa dengan *hot deep galvanized treatment*.

2. Tinggi penyangga : paling sedikit 1 m dari permukaan tanah.

3. *Module array support* dapat berupa modul *support* untuk pemasangan pada permukaan tanah ataupun di atap bangunan.

4. Untuk pemasangan di atas permukaan tanah, perlu dilengkapi dengan sistem *anchor/manzeta*.

D. *Solar charge controller*

1. Umum : kontroler berfungsi mengatur *charging* ke baterai, *discharge* dari baterai harus dapat dikontrol agar tidak merusak baterai.

2. Tegangan input : paling sedikit 48 Vdc

3. Efisiensi : > 90%

4. Tegangan baterai : paling sedikit 48 Vdc

5. *Charge control* : *pulse width modulation* (PWM), kapasitas disesuaikan.

6. Sistem proteksi : *high voltage disconnect* (HVD), *low voltage disconnect* (LVD), *short circuit protection*. Dilengkapi dengan *display*, *data logger*, sensor temperatur baterai Garansi paling sedikit 1 tahun.

E. Inverter

1. Umum : inverter berfungsi mengubah arus DC ke AC

2. *Wave form* : *pure sine wave*

3. *Rated AC voltage* : 220/230 Vac (1 fasa) atau 380/400 Vac (3 fasa)

4. Frekuensi : 50 Hz

5. *Output voltage HD factor* : < 3%

6. Efisiensi : > 90%

7. Tegangan baterai : paling sedikit 48 Vdc

8. *Charge Control* : *pulse width modulation* (PWM) kapasitas disesuaikan

9. Sistem proteksi : *high voltage disconnect* (HVD), *low voltage disconnect* (LVD), *short circuit protection*

10. Dilengkapi dengan *display*, *data logger*, sensor temperature baterai

11. Menyediakan fasilitas *remote monitoring*
12. Garansi paling sedikit 1 tahun.

F. *Baterai*

1. Tipe : *valve regulated lead acid* (VRLA)
2. Kapasitas : menyesuaikan kapasitas PV Modul dan beban
3. Kemampuan *cycling* : paling sedikit 1200 *cycle* pada 80% *depth of discharge* (DOD)
4. Sertifikasi : lembaga nasional atau internasional
5. Garansi : paling sedikit 1 tahun
6. Harus dilengkapi dengan sistem koneksi yang dapat mencegah korosi dan arus hubung singkat (termasuk pada waktu pemasangan)

2.10 Aspek Teknis

2.10.1 Menentukan Spesifikasi Umum PLTS Sistem Terpusat

Dalam menentukan spesifikasi umum PLTS terpusat menggunakan rumus-rumus yang bersumber dari standar AS/NZS 4509.2:2010, adalah sebagai berikut:

1. Menentukan efisiensi inverter (η_{inv})

Dalam menentukan efisiensi inverter dianjurkan menggunakan inverter dengan efisiensi yang tinggi.

2. *Design load energy* (E_{tot})

Design load energy adalah kebutuhan energi listrik total yang harus disuplai oleh pembangkit. Untuk menentukan *Design load energy* digunakan persamaan sebagai berikut:

$$E_{tot} = \frac{E}{\eta_{inv}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan :

- E_{tot} = Total kebutuhan energi harian (Wh)
- E = listrik per hari (Wh)
- η_{inv} = Efisiensi inverter (%)

3. Menentukan sudut kemiringan (*tilt angle*)

Sudut kemiringan dipilih untuk memaksimalkan produksi energi dari PV Array. Berdasarkan AS/NZS 4509.2:2010, Sudut optimum tergantung pada derajat lintang maupun variasi radiasi matahari sepanjang tahun. Minimal *tilt angle* modul surya adalah 10° .

4. Menentukan nominal tegangan bus DC (V_{dc})

Tujuan menentukan nominal tegangan bus DC adalah sebagai referensi tegangan untuk setiap komponen yang akan terhubung ke jalur bus DC.

5. Konfigurasi sistem

Konfigurasi sistem pada perancangan PLTS Terpusat *Off-Grid System*.

2.10.2 Perancangan dan Pemilihan Komponen Utama

Perancangan dan pemilihan komponen utama PLTS Terpusat *Off-Grid System* pada tahap ini adalah melakukan perhitungan secara teoritis yang sesuai dengan rumus-rumus yang terdapat pada *Australian/New Zealand StandardTM AS/NZS 4509.2:2010* tentang *Stand Alone Power System Part 2: System Design* bertujuan untuk menghasilkan sebuah desain PLTS Terpusat *Off-Grid System* yang optimal dan handal.

2.10.2.1 Modul Surya

Dalam melakukan perancangan dan pemilihan PV Array, ada beberapa hal yang menjadi variabel perhitungan sebelum menetapkan jumlah dan kapasitas modul surya yang akan digunakan. Adapun variabel-variabel yang menjadi perhitungan tersebut, yaitu:

1. *Oversupply co-efficient* (f_o)

Oversupply co-efficient merupakan nilai kelebihan suplai energi listrik yang digunakan dalam mendesain kapasitas pembangkit.

2. Nominal efisiensi baterai (η_{bat})

Pada setiap PLTS digunakan baterai jenis *lead acid*, menurut AS/NZS 4509.2:2010 baterai jenis *lead acid* memiliki efisiensi 90% sampai 95%.

3. Pemilihan modul surya

Pemilihan modul Surya ditentukan oleh desainer sendiri karena setiap jenis modul surya memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing seperti yang telah dijelaskan diatas.

4. *Irradiation on tilted plane (H_{tilt})* Irradiation on tilted plane adalah radiasi yang diterima pada *title angle* modul surya yang digunakan.

5. *Design load energy* setiap PV Array (E_{tot})

Perancangan PLTS Terpusat *Off-Grid System* pada penelitian ini ditentukan beberapa rangkaian PV Array untuk menyesuaikan dengan kapasitas *Solar Charger Controllel (SSC)* yang akan dirancang.

$$\text{Design load energy (} E_{\text{tot}} \text{) setiap PV Array} = \frac{E_{\text{tot}}}{\text{Jumlah PV Array}} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

E_{tot} = Total kebutuhan energi harian (Wh)

6. *Design load* (Ah)

Design load Ah adalah kebutuhan energi listrik dalam satuan *Ampere hour* (Ah). *Design load* Ah diperoleh dari pembagian dari total kebutuhan energi harian (Wh) dan tegangan bus DC.

$$\text{Design load Ah} = \frac{E_{\text{tot}}}{V_{\text{dc}}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

E_{tot} = Total kebutuhan energi harian (Wh)

V_{dc} = Tegangan bus DC (V)

7. *Required Array output*

Required Array output adalah nominal daya yang harus disuplai oleh PV Array (dalam satuan Ah) dengan memperhitungkan efisiensi baterai (η_{bat}).

$$\text{Required Array output Ah} = \frac{\text{Design load Ah}}{\eta_{\text{bat}}} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

E_{tot} = Kebutuhan energi listrik (Ah)

η_{bat} = Efisiensi baterai (%)

8. *Daily charge output per module*

Daily charge output per module adalah energi yang dihasilkan satu modul per hari (dalam Ah). *Daily charge output per module* dalam penelitian ini sebesar:

$$Daily\ charge\ output = (1 - \text{Toleransi pabrik}) \times I_{T,V} \times f_{dirt} \times H_{tilt} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan :

- Toleransi pabrik = Toleransi pabrik terhadap daya keluaran (%)
- $I_{T,V}$ = Arus hubung singkat di bawah temperatur operasi (NOCT) (A)
- f_{dirt} = *Derating factor* karena debu (%)
- H_{tilt} = Radiasi *title angle* (kWh/m²/hari)

9. *Number of parallel strings required (N_p)*

Number of parallel strings required adalah jumlah modul surya yang akan dihubungkan secara paralel. Jumlah modul surya yang terhubung paralel adalah:

$$N_p = \frac{Required\ Array\ output \times f_o}{Daily\ charge\ output\ per\ module} \dots \dots \dots (2.6)$$

Keterangan :

- Required Array output* = Arus hubung singkat di bawah temperatur operasi (A)
- Daily charge output* = *Derating factor* karena debu (%)
- f_o = *Oversupply co-efficient* 1,3 – 2

10. *Number of series modules per string (N_s)*

Number of series modules per string adalah jumlah modul surya yang akan dihubungkan secara seri. Jumlah modul surya yang terhubung seri adalah:

$$N_s = \frac{V_{dc}}{V_{oc}} \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

- V_{dc} = Nominal tegangan bus DC (V)
- V_{oc} = Nominal tegangan modul (V)

11. *Total number of modules in Array (N)*

Total number of modules in Array adalah total keseluruhan modul surya yang akan digunakan. Jumlah modul surya yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

$$N = N_p \times N_s \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan :

- N_s = *Number of series modules per string*
- N_p = *Number of parallel strings required*

12. *Kapasitas setiap PV Array (P_{PV Array})*

Setelah mendapatkan jumlah keseluruhan modul surya yang akan digunakan, maka kapasitas daya dari *PV Array* pada PLTS Terpusat *Off-Grid system* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P_{PV Array} = \text{jumlah modul surya} \times \text{daya per modul surya} \dots \dots \dots (2.9)$$

13. *Kapasitas Total PV Array (P_{PV Array})*

Kapasitas total daya dari seluruh *PV Array* pada PLTS Terpusat *Off-Grid System* dalam penelitian ini didapatkan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$N (Total) = N \times \text{Jumlah PV Array}$$

$$P_{PV Array} (Total) = N (Total) \times P_{stc} \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan :

- $N (Total)$ = Total keseluruhan modul
- $P_{PV Array} (Total)$ = Kapasitas total daya dari seluruh *PV Array*
- P_{stc} = Kapasitas modul

2.10.2.2 Baterai

Dalam perancangan dan pemilihan baterai yang akan digunakan, ada beberapa variabel perhitungan yang harus dimasukkan, yaitu

1. *Design load Ah for battery sizing*

Design load Ah for battery sizing merupakan kebutuhan energi listrik yang akan dijadikan referensi dalam menentukan kapasitas baterai yang akan digunakan.

2. Target hari otonomi (*autonomy*) (T_{aut})
Merupakan target jumlah hari operasi maksimum baterai tanpa masukan energi dari PV Array sebelum melebihi DoD maksimum baterai.
3. *Maximum Depth of Discharge* (DoD_{max})
Merupakan batas pengosongan dari baterai, besarnya muatan listrik maksimum dari baterai yang diizinkan untuk digunakan.
4. Kapasitas baterai pada *nominal battery discharge rate* (C_x)
Menurut AS/NZS 4509.2:2010, pemilihan C_x harus mempertimbangkan beban maksimum dan durasi beban, *discharge rate* 100 jam cocok digunakan untuk kebutuhan beban yang rendah dan *discharge rate* 20 jam cocok digunakan untuk beban yang tinggi.
5. Faktor koreksi temperatur
Menurut AS/NZS 4509.2:2010, faktor koreksi temperatur untuk baterai dengan *discharge rate* 20 jam (C_{20}) adalah sebesar 98%.
6. Kapasitas baterai yang diperlukan
Besarnya kapasitas baterai yang diperlukan dalam PLTS Terpusat *Off-Grid system* adalah:

$$Ah = \frac{Design\ load\ Ah \times T_{aut}}{DoD_{max} \times Faktor\ koreksi\ temperatur} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

- $Design\ load\ Ah$ = Kebutuhan energi listrik (Ah)
- T_{aut} = Target hari otonomi
- DoD_{max} = Batas pengosongan dari baterai (%)

7. Pemilihan baterai
Pada Perancangan PLTS Terpusat *Off-Grid system* pemilihan baterai sesuai dengan spesifikasi dan kebutuhan sistem.
8. Jumlah baterai terhubung seri
Jumlah baterai yang dihubungkan disesuaikan dengan tegangan bus DC yang digunakan. Dengan persamaan berikut:

$$Baterai\ terhubung\ seri = \frac{V_{dc}}{V_{dc}} \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

V_{dc} = Nominal tegangan bus DC (V)

V_{dc} = Nominal baterai (V)

9. Jumlah baterai terhubung paralel

Untuk meningkatkan kapasitas baterai yang digunakan sesuai kapasitas baterai. Adapun jumlah baterai yang dihubungkan paralel dalam penelitian ini yaitu:

$$\text{Baterai terhubung paralel} = \frac{\text{Kapasitas baterai diperlukan}}{\text{Kapasitas baterai pada } C_x} \dots\dots\dots(2.13)$$

10. Total jumlah baterai

Setelah mendapatkan jumlah baterai yang dihubungkan secara paralel dan seri, maka dapat ditentukan total baterai yang diperlukan dalam perancangan dengan mengalikan total baterai yang diserikan dengan jumlah blok baterai yang diparalelkan, yaitu:

$$\text{Total} = \text{Baterai terhubung seri} \times \text{Baterai terhubung paralel} \dots\dots\dots(2.14)$$

11. *Capacity of battery bank at nominal discharge rate*

Capacity of battery bank at nominal discharge rate adalah kapasitas baterai yang dihasilkan setelah perancangan.

$$C_x(\text{Design}) = \text{Kapasitas baterai} \times \text{jumlah string parallel} \dots\dots\dots(2.15)$$

12. *Day of autonomy for selected battery*

Waktu otonomi adalah jumlah hari yang dapat dilayani oleh baterai untuk mensuplai energi beban tanpa adanya energi dari PLTS.

$$a = \frac{DoD_{\max} \times \text{Capacity of battery} \times \text{Faktor koreksi temperatur}}{\text{Design load Ah for battery sizing}} \dots\dots\dots(2.16)$$

13. *Nominal daily DoD*

Nominal daily DoD disimbolkan dengan DoD_d , adalah besarnya discharge rata-rata harian dari baterai.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
 1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

$$DoD_d = \frac{\text{Design load Ah}}{\text{Capacity of battery (Design)}} \dots\dots\dots(2.17)$$

2.10.2.3 Solar Charger Controlel (SCC)

Untuk menghindari baterai dari kerusakan karena tidak stabilnya arus yang masuk. Dalam perancangan dan pemilihan SCC harus mengikuti beberapa tahapan, antara lain:

1. *x h rate capacity of selected cell/block*
h rate capacity of selected cell/block adalah kapasitas yang tertera pada *manufacture* baterai.
2. *x h rate capacity of battery bank*
x h rate capacity of battery bank disimbolkan dengan C_x adalah total kapasitas baterai *Design load* (Ah) yang digunakan dalam sistem PLTS.
3. *x h rate capacity of battery bank*
x h charge rate for battery bank disimbolkan dengan I_x , adalah arus maksimum yang harus dihasilkan oleh SCC (satuan dalam A).

$$I_x = \frac{\text{h rate capacity of battery bank}}{x} \dots\dots\dots(2.18)$$

4. *Max charge voltage at typical (V_{bc})*
 V_{bc} adalah tegangan normal maksimum *charge* dari baterai *charge regulator* pada arus maksimum.

$$V_{bc} = \text{typically voltage per cell} \times N_s \dots\dots\dots(2.19)$$

5. *Battery charge max apperent power (S_{bc})*
Battery charge max apperent power adalah daya nyata *maximum* yang dikonsumsi oleh baterai *charger* pada kondisi saat arus *output* maksimum dan tegangan pengisian normal maksimum (VA).

$$S_{bc} = \frac{I_{bc} \times V_{bc}}{(\eta_{bc} \times pf_{bc} \times 1000)} \dots\dots\dots(2.20)$$

Keterangan :

- I_{bc} = Output current (A)
- V_{bc} = Tegangan normal maksimum charge (V)
- η_{bc} = Nominal charge efficiency (%)
- pf_{bc} = Power faktor (%)

2.10.2.4 Inverter

Menurut AS/NZS 4509.2:2010, pada tahap perancangan dan pemilihan inverter perlu memperhatikan hal-hal berikut:

1. Kapasitas daya inverter ditentukan dari daya *output* seluruh PV Array
2. Kapasitas daya inverter yang direncanakan harus dlebihihkan 10% (*Safety Factor*)
3. Kualitas gelombang (direkomendasikan *pure sine wave*)
4. Efisiensi inverter
5. Rentang tegangan operasi DC
6. Tegangan dan frekuensi keluaran
7. Konfigurasi sistem

Dari beberapa kriteria di atas maka dalam menentukan kapasitas inverter pada penelitian ini, akan disesuaikan dengan kebutuhan dari kapasitas PLTS Terpusat *Off-Grid System*. Untuk keamanan inverter ditambahkan 10% atau dikalikan 1,1 dari daya inverter yang sudah direncanakan, sehingga kapasitas inverter yang akan digunakan, yaitu:

$$\text{Kapasitas inverter} = \text{Kapasitas PLTS} \times f_o \dots\dots\dots(2.21)$$

2.10.3 Perancangan dan Pemilihan Komponen Pendukung

2.10.3.1 Kabel

Perancangan kabel pada PLTS Terpusat *Off-Grid System* dalam penelitian ini yaitu menentukan maksimum arus sesuai dengan nilai *Safety Factor* (1,25) berdasarkan AS/NZS 4509.2:2010, sedangkan pemilihan kapasitas dan jenis kabel menggunakan Standar Perusahaan Listrik Nasional atau Standar Nasional Indonesia (SPLN/SNI). Jenis kabel terbaik yang digunakan pada PLTS yaitu NYAF (Nasution, 2016). Pengkabelan pada PLTS Terpusat *Off-Grid System* dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

1. Kabel DC Antara Modul Surya

$$\text{Maksimum Arus} = 1,25 \times I_{sc} \dots\dots\dots(2.22)$$

Keterangan :

$$I_{sc} = \text{Arus modul surya (A)}$$

2. Kabel Modul Surya ke *Junction Box*, *Junction Box* ke SCC, dan SCC ke Panel Busbar DC.

$$\text{Maksimum Arus} = \frac{P_{Array}}{V_{dc}} \times 1,25 \dots\dots\dots(2.23)$$

Keterangan :

$$P_{Array} = \text{Daya PV Array (kWp)}$$

$$V_{bc} = \text{Tegangan normal maksimum charge (V)}$$

3. Kabel baterai ke Panel Baterai dan Kabel Busbar DC ke Inverter

$$\text{Maksimum Arus} = \frac{\text{Kapabilitas baterai} \times Np \text{ Baterai}}{C_x} \times 1,25 \dots\dots\dots(2.24)$$

Keterangan :

$$Np \text{ Baterai} = \text{Jumlah baterai terhubung parallel}$$

$$C_x = \text{x h rate capacity of battery}$$

4. Kabel Inverter ke Panel Distribusi

$$\text{Maksimum Arus} = \frac{P_{Inverter}}{V_{ac}} 1,25 \dots\dots\dots(2.25)$$

Keterangan :

$$P_{Inverter} = \text{Daya inverter (kW)}$$

$$V_{ac} = \text{Tegangan AC}$$

2.10.3.2 Sistem Proteksi Pada Panel Box

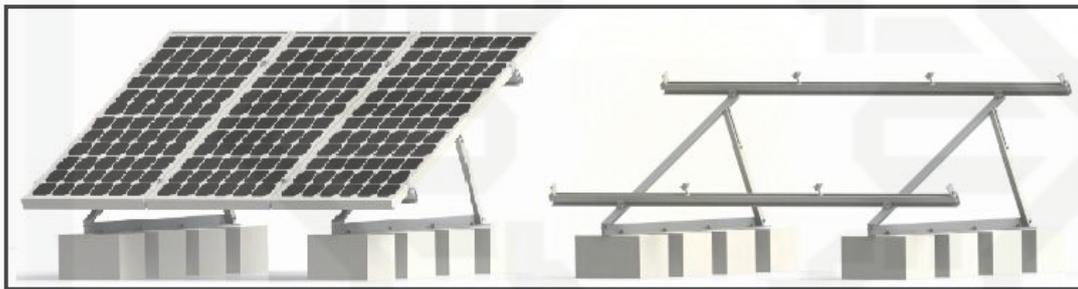
Panel *box* pada PLTS dilengkapi dengan saklar utama/pemisah, pembatas arus *Mini Circuit Breaker* (MCB) atau *Moulded Case Circuit Breaker* (MCCB), *Earth Leak Circuit Breaker* (ELCB), saklar, terminal dan busbar. Perancangan sistem proteksi pada

panel *box* pada PLTS Terpusat *Off-Grid System* dalam penelitian ini yaitu penentuan kapasitas MCCB yang disesuaikan dengan maksimum arus.

1. MCCB Pada Panel Basbar DC
2. MCCB Pada Panel Baterai
3. MCCB Pada Panel Distribusi

2.10.3.3 Mounting System

Mounting System pada komponen PLTS yang berfungsi untuk meletakkan modul surya dengan sudut kemiringan yang telah ditentukan. Sudut kemiringan dan arah orientasi pada umumnya disesuaikan berdasarkan lokasi *PV Array* dengan mempertimbangkan arah matahari (Sonatha, 2015). Berikut ini gambar 4.5 *mounting system* pada PLTS Sistem Terpusat.



Gambar 4.5 *Mounting system* PLTS Sistem Terpusat
(Sumber: Nasution, 2016)

Untuk melakukan *mounting system* pada PLTS Sistem Terpusat harus mengetahui beberapa syarat dan ketentuan (Nasution, 2016). Beberapa syarat dan ketentuan untuk melakukan *mounting system* yaitu sebagai berikut:

1. Penentuan lokasi instalasi PLTS Sistem Terpusat didasarkan pada beberapa aspek yang harus dipertimbangkan dalam penentuan lokasi *PV Array* adalah:
 - a. Ketersediaan lahan sesuai dengan luas PLTS Sistem Terpusat yang akan dibangun.
 - b. Memilih lokasi *PV Array* yang mendapatkan sinar matahari langsung dan jauh dari pepohonan untuk menghindari *shading*.
 - c. Pemilihan lokasi yang lebih tinggi untuk menghindari genangan air atau banjir pada waktu musim hujan.
 - d. Lokasi dekat dengan rumah warga untuk menghindari *losses* pada sistem distribusi
 - e. Memiliki kontur tanah yang stabil, sehingga konstruksi *Mounting System PV Array* tidak mudah rusak.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:

- a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
- b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

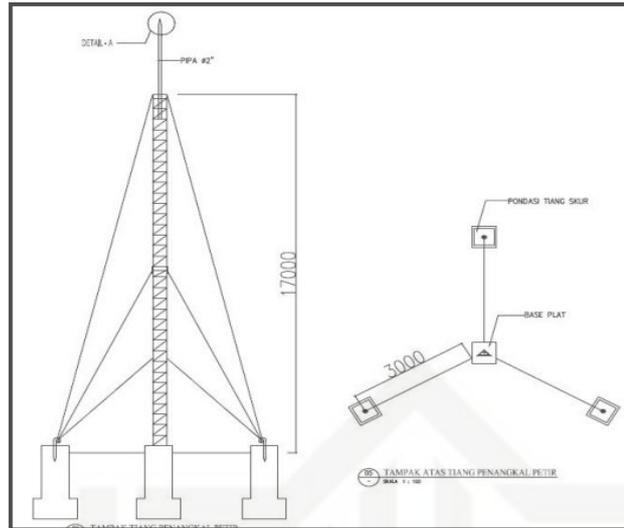
2. Rancangan sistem dan konstruksi penyangga modul surya PLTS Sistem Terpusat pada penelitian ini sebagai berikut :

- a. Bahan dan *treatment* terbuat dari pelat besi, besi siku atau pipa dengan *hot dip galvanized treatment*.
- b. Untuk pemasangan di atas permukaan tanah, perlu dilengkapi dengan sistem *anchor/manzeta*.
- c. Perancangan penyangga modul surya mampu menahan kecepatan angin sampai dengan 100 km/jam.
- d. Salah satu kaki penyangga modul surya terhubung dengan kawat pentanahan.
- e. Tinggi penyangga yaitu 1 meter dari permukaan tanah.
- f. Penyangga modul pada penelitian ini memiliki sudut kemiringan antara 16° karena merupakan sudut pada radiasi maksimum.
- g. Ketinggian antara modul dan permukaan tanah pada titik terendah 70 cm.
- h. Perhitungan jarak antara PV *Array* menggunakan rumus *phytagoras* sebagai berikut:

$$Y = \cos Alt^{\circ} \times \frac{x}{\sin Alt^{\circ}}$$

2.10.3.4 Penangkal Petir

Penangkal petir sangat diperlukan disetiap pembangkit listrik maupun PLTS Sistem Terpusat. Alat ini berfungsi juga mengamankan dari sambaran petir atau kejutan petir sebelum mengenai peralatan sistem yang dapat berakibat fatal. Rancangan sistem dan konstruksi penangkal petir yang digunakan dalam penelitian ini menyesuaikan dengan rancangan penangkal petir PLTS Sistem Terpusat yang dirancang pada modul rancangan teknis PLTS Sistem Terpusat oleh kementerian ESDM (Nasution, 2016). Berikut ini gambar 4.9 sistem dan konstruksi penangkal petir yang akan digunakan.



Gambar 4.9 Penangkal Petir PLTS Sistem Terpusat
 (Sumber: Nasution, 2016)

Dengan rancangan sistem dan konstruksi penangkal petir sebagai berikut:

1. Menara (tower) *tree angle, guyed wire*.
2. *Passive system, connection slave*.
3. Pembumian penangkap petir tersambung secara baik dan dipisah dengan sistem pembumian PV Array.
4. Resistansi pembumian ≤ 5 ohm (SNI) agar memperoleh resistansi yang terendah dapat digunakan beberapa batang (rod) pembumian yang disatukan.
5. Terdapat sistem pentanahan.
6. Dilengkapi dengan *lighting counter*
7. *Lighting counter* diletakkan didalam *box* yang spesifikasi teknisnya sesuai dengan *combiner box*.
8. Tinggi menara (tower) minimal 17 m.

2.11 PV Syst

PVSYST V6.61 adalah perangkat lunak yang digunakan untuk proses pembelajaran, pengukuran (*sizing*), dan analisa data dari sistem PLTS secara lengkap. *PV Syst* dikembangkan oleh Universitas Genewa, yang terbagi ke dalam sistem terinterkoneksi jaringan (*grid-connected*), sistem berdiri sendiri (*stand-alone*), sistem pompa (*pumping*), dan jaringan arus searah untuk transportasi publik (*DC-grid*) *PV Syst* juga dilengkapi *database* dari sumber data meteorologi yang luas dan beragam, serta data komponen-

komponen PLTS (Putra, 2015). Perangkat lunak ini digunakan untuk kebutuhan arsitek, insinyur, peneliti. Hal ini juga sangat membantu untuk pelatihan pendidikan. Dalam menggunakan Simulasi *PV Syst* mengacu pada *Solar Power System Modeling and Performance Analysis (2011)*, Adapun langkah dalam menjalankan *PV Syst* sebagai berikut:

1. Data Meteorologi

Data meteorologi yang dapat digunakan pada *PVSyst* yaitu bersumber dari *MeteoNorm V 6.1* (interpolasi 1960-1990 atau 1981-2000), *NASA-SSE* (1983-2005), *PVGIS* (untuk Eropa dan Afrika), *Satel-Light* (untuk Eropa), *TMY2/3* dan *SolarAnywhere* (untuk USA), *EPW* (untuk Kanada), dan lain-lain. (Putra, 2015).

2. Orientasi

Dalam sistem *fotovoltaik* desain orientasi harus dipertimbangkan karena mereka akan mempengaruhi kinerja sistem *fotovoltaik*. Untuk menerima jumlah maksimum radiasi matahari panel *photovoltaic* perlu ditempatkan pada sudut tertentu. Ada beberapa cara dalam pemasangan arah array, ini juga yang paling umum digunakan yaitu untuk belahan bumi utara menghadap ke selatan dan begitulah sebaliknya, namun keterbatasan penyerapan sinar matahari, energi yang dihasilkan agak rendah. Akan tetap, untuk memaksimalkan energi yang dihasilkan dan memudahkan dalam pemeliharaan maka dapat diatur sudut kemiringan (*azimut*) berdasar lokasi yang kita inginkan. Seperti halnya di Indonesia memiliki dua musim panas dan dingin disarankan dengan sudut kemiringan 10° - 15°

3. Analisa Beban

Analisa beban adalah menentukan beban yang dibutuhkan dan beban puncak dalam satu hari atau 24 jam yang dijadikan dalam bentuk waat jam untuk memudahkan dalam memasukkan ke dalam *software PV Syst*.

4. System komponen

Dalam *PV Syst* sudah dilengkapi data-data komponen yang kita inginkan seperti modul surya, baterai, *Charge Controler*, dan *inverter*. Komponen tersebut akan menyesuaikan dengan kebutuhan beban.

5. Simulasi

Setelah menyelesaikan konfigurasi sistem dan pastikan semua parameter yang ditetapkan dengan benar untuk proyek tersebut.

2.11.1 Kerugian Array di PV Syst

Dalam kondisi ideal, *array* harus menghasilkan 1 kWh di bawah kondisi uji standar dengan radiasi dari 1kW. Namun, ada beberapa faktor yang tidak dapat dihindari yang mengurangi efisiensi sistem PV, yaitu kerugian sistem. Kerugian sistem disebabkan karena (Jiaqi Wang201).

1. Kerugian termal

Kerugian termal adalah: kerugian akibat kenaikan suhu yang lebih tinggi yang akan menurunkan kinerja *output array*. Dalam *PV Syst*, kerugian termal dapat menggunakan rumus sebagai berikut:

$$U = U_C + U_V * V \dots\dots\dots(2.26)$$

Diketahui :

- U_C : komponen konstan 25W/m²*k
- U_V : koefisien kecepatan angin 1.2W/m²* k/m/s

2. Kerugian kabel

Kerugian kabel adalah kerugian yang mengakibatkan hilangnya daya output array. Di dalam *PV Syst* kerugian kabel bisa diatur tergantung dengan keadaan kabel. Tetapi dalam panduan *PV Syst* hilangnya daya akibat kabel sebesar 1.5%.

3. Kerugian ketidakcocokan

Kerugian ketidakcocokan terutama disebabkan oleh sambungan sel dengan karakteristik yang berbeda. Sebuah modul PV yang konstituen dengan sel yang berbeda dapat mengakibatkan hilangnya daya dan degradasi kehandalan karena keadaan operasi normal dari sel tunggal. Kerugian ini lebih parah untuk koneksi seri ketika sel tertentu berbayang atau rusak.

4. Kerugian debu pada modul

Debu merupakan faktor utama lain yang mempengaruhi *output* daya modul PV. Pengaruh mengotori modul. tergantung pada lokasi modul, *array* dipasang di dekat industri atau daerah perkotaan lebih cenderung menjadi kotor. Dalam *PV Syst* biasanya kehilangan kekotoran adalah 5%.

5. Array incidence loss (IAM loss)

Array incidence loss (IAM loss) adalah saat cahaya matahari melemah mengenai permukaan *PV array* yang disebabkan oleh lapisan modul. Dalam *PV Syst* Efek penurunan *IAM loss* dapat menggunakan persamaan:

$$F_{IAM} = 1 - b_o \left(\frac{1}{\cos i} - 1 \right) \dots\dots\dots(2.27)$$

Diketahui:

- i : sudut datang.
- b_o : ditentukan oleh modul yang berbeda, untuk modul termal mengkilap tunggal, b_o adalah 0,1. Untuk modul kristal dengan indeks bias tinggi b_o mengambil nilai 0,05.

2.11.2 Analisa ekonomi

Sistem PV sering dianggap sebagai solusi energi bersih yang ramah lingkungan; Namun, di sisi lain, sistem PV juga termasuk sistem yang mahal. Tetapi, dengan desain dan operasi yang efektif, sistem PV dapat membayar kembali investasi dan memiliki keuntungan lebih lanjut. Adapun analisa ekonomi yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Biaya investasi awal
Biaya investasi awal adalah biaya awal yang dikeluarkan untuk pembelian komponen-komponen PLTS, biaya pendukung, biaya penggantian dan lainnya.
2. Biaya Pemasangan
Berdasarkan data Otoritas Jasa Keuangan (OJK) 2016. Tentang pembiayaan pembangkit listrik tenaga surya bahwa standar biaya pemasangan PLTS Sistem Terpusat sebesar US\$ 2.5 /Wp
3. Biaya pemeliharaan
biaya pemeliharaan adalah biaya selama periode operasi dalam 1 tahun. Yaitu termasuk biaya asuransi, biaya pajak, biaya gaji operator dan lain-lain atau Biaya Operasional dan Pemeliharaan (O&M)
4. *Salvage value* dan Subsidi (Bantuan)
Salvage values adalah nilai sisa dari sistem PV di akhir hidupnya. Besarnya nilai sisa sebesar 20%. (Wang, 2011). Sedangkan Subsidi/Bantuan didapat dari Dana Alokasi Daerah (DAK) berdasarkan peraturan ESDM NO: 02 Tahun 2012 BAB IV Pasal 8 yang berbunyi Bupati penerima DAK wajib mengalokasikan DAK

sekarang kurangnya 10% dari DAK yang diterima untuk Bidang Listrik Perdesaan. Berdasarkan data dari Direktorat Jendral Perimbangan Keuangan Kementerian Keuangan 2017. Bahwa Dana Alokasi Daerah Kabupaten Indragiri Hilir Sebesar Rp. 903.900.000

2.11.2.1 Analisa Biaya siklus hidup (Life Cycle Cost)

Biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost*) adalah semua biaya yang dikeluarkan oleh suatu sistem, selama kehidupannya. Pada sistem PLTS, biaya siklus hidup (LCC) ditentukan oleh nilai sekarang dari biaya total sistem PLTS yang terdiri dari biaya investasi awal, biaya pemeliharaan dan operasional serta biaya pengganti baterai dan di kurang nilai sisa.

Dalam *Software PV Syst*, Biaya siklus hidup (LCC) dapat menggunakan persamaan (Jiaqi Wang, 2011).

$$LCC= C + M_{PV} + R_{PV} - S_{PV} \dots\dots\dots(2.28)$$

Diketahui :

- LCC : biaya siklus hidup
- C : biaya awal
- M_{PV} : biaya pemeliharaan
- R_{PV} : biaya perbaikan dan biaya penggantian
- S_{PV} : nilai sisa (20 %)

2.11.2.2 Present Values (PV)

Persent Values (PV) atau nilai sekarang dari biaya penggantian komponen untuk beberapa waktu mendatang (selama umur proyek) digunakan rumus di bawah ini namun, sebelum itu nilai diskonto untuk beberapa waktu mendatang atau *Present Worth function* (PWF) harus diketahui. Dihitung dengan rumus sebagai berikut (Halim, 2009)

$$PWF = \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right]$$

$$R_{pw} = B \times PWF \dots\dots\dots(2.29)$$

Keterangan :

B = Biaya penggantian komponen

2.10.2.3. Biaya Operasional dan Pemeliharaan (O&M)

Biaya operasional dan pemeliharaan (O&M) pertahun untuk PLTS umumnya diperhitungkan sebesar 1-2% dari total biaya investasi awal (Lazou, 2000). Adapun besar biaya pemeliharaan dan operasional per tahun untuk PLTS yang akan dikembangkan adalah sebagai berikut.

$$M = 1\% \times \text{Total biaya instalas} \dots \dots \dots (2.30)$$

2.10.2.4 Analisa Levelized cost of energy (LCOE)

Levelized cost of energy (LCOE) adalah biaya rata-rata per kWh energi listrik yang dihasilkan oleh sistem PV SYST.

2.11 Analisa Emisi

Dengan menggunakan PLTS yang merupakan salah satu pembangkit yang ramah terhadap lingkungan tanpa biaya bahan bakar sehingga dapat mengurangi dampak yang timbul dari gas buang karbon dioksida (CO_2) ke udara akibat pengurangan pemakaian pembangkit listrik berbahan bakar fosil (Indralaksono, 2009).

Berdasarkan data Perusahaan Listrik Nasional (PLN) tentang pembauran energi tahun 2008 diketahui bahwa rata-rata faktor emisi CO_2 pembangkit berbahan bakar fosil adalah 0,734 ton CO_2 /MWh atau 0,734 kg CO_2 /kWh, artinya untuk menghasilkan energi listrik 1 kWh melalui pembangkit berbahan bakar fosil dihasilkan emisi CO_2 sebesar 0,734 kg (Indralaksono, 2009).

Pada penelitian ini hasil pengurangan emisi CO_2 oleh PLTS Sistem Terpusat selama 20 tahun menggunakan Software PV Syst untuk memudahkan peneliti dalam melakukan perhitungan. Adapun rumus emisi berdasarkan Software PV Syst sebagai berikut:

$$eCO_2 = E \text{ grid} \times \text{System Lifetime} \times LCE \text{ Grid} - LCE \text{ System} \dots \dots \dots (2.31)$$

Keterangan:

eCO_2 = Emisi CO_2 (t CO_2)

$E \text{ grid}$ = Produksi energi listrik pertahun (MWh)

<i>System Lifetime</i>	= Umur PLTS Sistem Terpusat
<i>LCE Grid</i>	= Rata-rata Faktor emisi CO_2 (0.743 kg CO_2 /kWh)
<i>LCE System</i>	= Disebabkan oleh Konstruksi dan Intalasi PV (227,1 t CO_2)

Didalam *Software PV Syst* terdapat Degradasi Tahunan (*Annual Degradation*), yang ditetapkan oleh panduan *PV Syst* sebesar 1%. Degradasi Tahunan merupakan penurunan hasil emisi CO_2 dikarenakan penuaan pada komponen PLTS.

Adapun Dasar hukum untuk melakukan pengurangan dan mitigasi gas rumah kaca berdasarkan data dari Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) 2013 adalah:

1. Undang-Undang No. 6 Tahun 1994 tentang Ratifikasi Konvensi Perubahan Iklim yang mewajibkan Indonesia untuk melakukan pelaporan tingkat emisi GRK nasional dan upaya-upaya mitigasi perubahan iklim pada dokumen komunikasi nasional (*National Communication*; pasal 12 Konvensi);
2. Ketentuan Pasal 21 ayat (1) Undang-undang Nomor: 30 tahun 2007 tentang Energi, menyatakan bahwa pemanfaatan energi dilakukan dengan mengoptimalkan seluruh potensi sumber daya energi dan mempertimbangkan aspek teknologi, sosial, ekonomi, konservasi dan lingkungan.
3. Undang-Undang No. 32 Tahun 2009 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, Pasal (63) menyatakan bahwa Pemerintah, Pemerintah Propinsi, Kabupaten/Kota melakukan inventarisasi emisi GRK.
4. Undang-Undang Nomor 31 Tahun 2009 tentang Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, pasal 65 ayat (3) huruf a, bahwa untuk perumusan kebijakan perubahan iklim dilakukan inventarisasi emisi GRK. Peraturan Presiden No. 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan emisi Gas Rumah Kaca Pasal 3 huruf (a) menyatakan RAN-GRK merupakan pedoman bagi Kementrian / Lembaga untuk melakukan perencanaan, pelaksanaan serta monitoring dan evaluasi rencana aksi penurunan emisi GRK.
5. Peraturan Presiden No. 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Pasal 3 ayat 3 huruf menyatakan Inventarisasi GRK sebagaimana dimaksud pada ayat (1) dilakukan pada sumber emisi dan penyerapannya termasuk simpanan karbon yang meliputi Pengadaan dan Penggunaan Energi yang mencakup: Pembangkitan Energi; Industri; Transportasi; Rumah Tangga; Komersial dan Pertanian, Konstruksi dan Pertambangan.

6. Peraturan Presiden No. 71 Tahun 2011 tentang Penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional Pasal 8 ayat 1 huruf (a) menyatakan Menteri terkait dan/atau Kepala Lembaga Pemerintah Non Kementrian yang terkait dengan ruang lingkup inventarisasi GRK sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 ayat (3), bertugas untuk menyelenggarakan inventarisasi GRK. Berdasarkan pertimbangan hal-hal tersebut di atas, maka perlu dilakukan Kajian Inventarisasi Emisi Gas Rumah Kaca Sektor Energi. Kajian ini disusun untuk dapat mengetahui perkembangan emisi gas rumah kaca dari sektor energi di Indonesia.

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar UIN Suska Riau.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin UIN Suska Riau.

