

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Energi dari matahari tiba di bumi dalam bentuk radiasi elektromagnetik yang mirip dengan gelombang radio tetapi mempunyai kisaran frekuensi yang berbeda. Energi dari matahari tersebut dikenal di Indonesia sebagai energi surya. Energi surya diukur dengan kepadatan daya pada suatu permukaan daerah penerima dan dikatakan sebagai radiasi surya. Rata-rata nilai dari radiasi surya di luar atmosfer bumi adalah  $1353 \text{ W/m}^2$ , dinyatakan sebagai konstanta surya. Total energi yang sampai pada permukaan horizontal di bumi adalah konstanta surya dikurangi radiasi akibat penyerapan dan pemantulan atmosfer sebelum mencapai bumi dan nilai tersebut disebut sebagai radiasi surya global. Radiasi surya global terdiri dari radiasi yang langsung memancar dari matahari (*direct radiation*) dan radiasi sebaran yang dipencarkan oleh molekul gas, debu dan uap air di atmosfer (*diffuse radiation*).

Insolasi surya adalah intensitas radiasi surya rata-rata yang diterima selama satu jam, dinyatakan dengan lambang  $I$  dan satuan  $\text{W/m}^2$ . Nilai insolasi surya dipengaruhi oleh waktu siklus perputaran bumi, kondisi cuaca meliputi kualitas dan kuantitas awan, pergantian musim dan posisi garis lintang.

## 2.2. Komponen Dasar dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Komponen dasar pendukung dari suatu Pembangkit listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah sebagai berikut :

### 2.2.1. Pembangkit Photovoltaic (PV Cell-Module-Array-Panel)

Solar PV(*photovoltaic*) adalah metode pembangkit tenaga listrik dengan mengubah radiasi matahari menjadi listrik arus searah (DC) menggunakan semikonduktor yang menunjukkan efek *photovoltaic*.

Solar PV atau sering disebut Solar Panel atau Panel Surya terdiri dari sejumlah sel surya/solar cell yang mengandung bahan/material *photovoltaic* (*photovoltaics*) yang tersusun bersamaan dengan silikon *monocrystalline*, *silicon polycrystalline*, silikon amorf, teluride kadmium, dan tembaga indium gallium selenide / sulfida. Solar PV termasuk jenis photo dioda.



**Gambar 2. 1** Photovoltaic

Solar cell/PV menghasilkan listrik arus DC dari sinar matahari, yang dapat langsung digunakan untuk peralatan listrik DC atau untuk mengisi ulang baterai. Aplikasi praktis pertama photovoltaics adalah satelit yang mengorbit listrik dan pesawat ruang angkasa lainnya, tetapi sekarang sebagian besar modul *photovoltaic* digunakan untuk pembangkit jaringan

listrik tersambung setara PLN. Dalam hal ini inverter diperlukan untuk mengkonversi arus DC ke arus AC.

Ada sistem plts kecil (dikenal SHS – Solar Home System) berbasis *off-grid* untuk memenuhi kebutuhan tempat tinggal terpencil, kapal, kendaraan rekreasi, mobil listrik, telepon umum, alat/kamera detektor dan monitor jarak jauh, sedangkan PLTS berskala besar jumlah modul PV harus dirangkai dalam kelipatan seri paralel disebut modul array. Dengan sistem modul array, kebutuhan energi listrik berskala besar dapat dipenuhi.

Kapasitas daya modul sel surya dapat diperhitungkan dengan memperhatikan beberapa faktor, yaitu kebutuhan energi sistem yang disyaratkan, insolasi matahari, dan faktor penyesuaian. (Roger A Messenger, 2010)

### 2.2.2. Charge Controller (BCR)

Solar Charge Controller / BCR adalah sebuah alat yang digunakan untuk mengatur Voltage yang dihasilkan oleh panel surya atau solar panel.



**Gambar 2. 2** Charge Control (BCR)

Perlu diketahui bahwa Voltage yang dihasilkan oleh panel surya atau solar panel besarnya berkisar  $> 17$  Volt, sedangkan aki atau battery hanya membutuhkan Voltage kisaran 10-13,8 Volt untuk melakukan pengisiannya.

Jika voltage yang masuk ke aki atau battery sebesar 17 volt sesuai dengan yang dihasilkan oleh panel surya, maka aki atau battery tersebut akan cepat rusak atau soak sehingga dibutuhkan sebuah alat yang bernama Solar Charge controller ini agar voltage yang dihasilkan oleh panel surya tersebut dapat distabilkan.

Fungsi dari solar Charge controller ini juga digunakan untuk mengatur agar tidak terjadi over charger atau kelebihan pengisian yang dilakukan panel surya atau solar panel ke battery/accu/aki.

Dengan demikian maka dengan adanya komponen Solar Charge controller ini maka battery yang anda gunakan dalam sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya anda akan aman dari kerusakan.

### **2.2.3. Baterai (Penyimpan Energi)**

Baterai adalah komponen PLTS yang berfungsi menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya pada siang hari, untuk kemudian dipergunakan pada malam hari dan pada saat cuaca mendung. Baterai yang dipergunakan pada PLTS mengalami proses siklus mengisi (*charging*) dan mengosongkan (*discharging*), tergantung pada ada atau tidaknya sinar matahari. Selama ada sinar matahari, panel surya akan menghasilkan energi listrik. Apabila energi listrik yang dihasilkan tersebut akan segera dipergunakan untuk mengisi baterai. Sebaliknya selama matahari tidak ada,

permintaan energi listrik akan disuplai oleh baterai. Proses pengisian dan pengosongan ini disebut satu siklus baterai.

Ada dua jenis baterai isi ulang yang dapat dipergunakan untuk sistem PLTS, yaitu baterai Asam Timbal (*Lead Acid*) dan baterai *Nickel-Cadmium*. Tetapi karena memiliki efisiensi yang rendah dan biaya yang lebih tinggi baterai *Nickel-Cadmium* relative lebih sedikit dipergunakan dalam sistem PLTS. Sebaliknya baterai Asam Timbal adalah baterai dengan efisiensi tinggi dengan biaya yang lebih ekonomis. Hal inilah membuat baterai Asam Timbal menjadi perangkat penyimpanan yang penting untuk beberapa tahun ke depan, terutama untuk sistem PLTS ukuran menengah dan besar.

Suatu ketentuan yang membatasi tingkat kedalaman pengosongan maksimum, diberlakukan pada baterai. Tingkat kedalaman (*Depth of Discharge*) baterai biasanya dinyatakan dalam persentase. Misalnya, suatu baterai memiliki DOD 80%, ini berarti bahwa hanya 80% dari energi yang tersedia dapat dipergunakan dan 20% tetap berada dalam cadangan. Pengaturan DOD berperan dalam menjaga usia pakai (*life time*) dari baterai tersebut. Semakin dalam DOD yang diberlakukan pada suatu baterai maka semakin pendek pula siklus hidup dari baterai tersebut.

Terdapat beberapa fungsi baterai dalam suatu sistem PLTS. Salah satunya yaitu untuk media penyimpanan energi. Listrik yang dihasilkan oleh panel surya pada siang hari disimpan pada baterai untuk kemudian digunakan pada saat malam hari atau pada cuaca mendung. Disamping itu adanya baterai juga digunakan untuk sistem stabilisasi tegangan. Seperti

sumber energi terbarukan yang lainnya. Energi listrik yang dihasilkan PLTS juga sangat bergantung pada kondisi cuaca. Akibatnya tegangan yang dihasilkan juga tidak selalu stabil. Penggunaan baterai dapat digunakan untuk menekan fluktuasi tegangan pada sistem PLTS dan untuk mencegah kerusakan beban peralatan listrik. Fungsi lain dari baterai yaitu untuk memenuhi kebutuhan arus listrik secara tiba-tiba. Kondisi ini biasanya dibutuhkan oleh peralatan listrik yang membutuhkan arus awal yang tinggi seperti motor atau peralatan induksi yang lain. Kinerja suatu PLTS dengan menggunakan baterai bergantung pada desain baterai dan parameter operasi sistem. Jika baterai tidak didesain untuk kondisi operasi PLTS maka akan sistem akan gagal. (Manimekalai, 2013)

#### **2.2.4. Inverter**

Inverter adalah peralatan elektronik yang berfungsi mengubah energi DC menjadi energi AC. Energi yang dihasilkan panel surya adalah arus DC, oleh karena itu pada sistem PLTS dibutuhkan inverter untuk mengubah energi dari panel surya dan baterai tersebut agar dapat menyuplai kebutuhan energi AC. Pemilihan inverter yang tepat untuk aplikasi PLTS didasarkan pada kebutuhan beban dan juga apakah inverter akan menjadi bagian dari sistem yang menuju jaringan listrik atau yang berdiri sendiri.

Pada pemilihan inverter, diupayakan kapasitas kerjanya mendekati kapasitas daya yang dilayani. Hal ini agar efisiensi kerja inverter menjadi maksimal.



**Gambar 2. 3** Inverter

Berikut merupakan jenis-jenis Inverter yaitu:

1. Inverter *True-sinewave* (gelombang arus murni), menghasilkan gelombang listrik yang sama dengan listrik PLN bahkan lebih baik dalam segi kestabilan dibanding daya yang dihasilkan PLN. Gelombang daya listrik bila dilihat melalui *oskiloskop* menampilkan gelombang sinus yang sempurna. *True sine wave* inverter diperlukan terutama untuk beban-beban yang masih menggunakan motor agar bekerja lebih mudah, lancar dan tidak cepat panas. Oleh karena itu dari sisi harga maka *True sine wave inverter* yang paling mahal diantara inverter jenis lainnya karena inverter jenis ini yang paling mendekati bentuk gelombang asli dari jaringan listrik PLN.
2. Inverter *Modified-sinewave* (gelombang sinus modifikasi), merupakan kombinasi antara *square wave* dan *sine wave*. Menghasilkan daya listrik yang cukup memadai untuk sebagian peralatan elektronik tetapi memiliki kelemahan karena kekuatan daya listrik yang dihasilkan

tidak sama persis dengan daya listrik dari PLN. Bentuk gelombang yang muncul berbentuk kotak yang kaku. Perangkat yang menggunakan kumparan masih bisa beroperasi dengan *modified sine wave inverter*, hanya saja kurang maksimal. Jenis inveter ini lebih murah dibandingkan inverter *True-sinewave* dan paling umum dipasarkan karena murah diproduksi sedangkan pada *square wave inverter* beban-beban listrik yang menggunakan kumparan/motor tidak bekerja sama sekali.

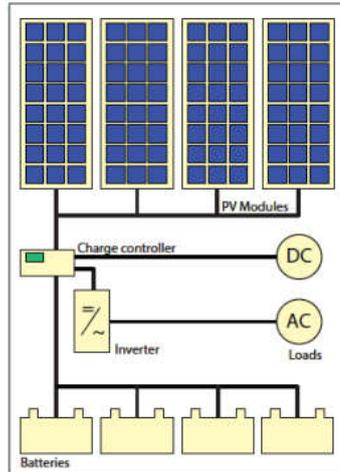
3. *Grid Tie Inverter* yang merupakan special inverter yang biasanya digunakan dalam sistem energi listrik terbarukan, yang mengubah arus listrik DC menjadi AC yang kemudian diumpankan ke jaringan listrik yang sudah ada. *Grid Tie Inverter* juga dikenal sebagai *synchronous inverter* dan perangkat ini tidak dapat berdiri sendiri, apalagi bila jaringan tenaga listrik tidak tersedia.

### 2.3. Sistem PLTS

Pada prinsipnya ada tiga klasifikasi sistem PLTS, yaitu PLTS yang berdiri sendiri off grid (*stand-alone*), PLTS yang terhubung dengan jaringan listrik on grid (*grid-connected*), dan sistem hybrid. (Roger A. Messenger, 2010)

#### a. Sistem off grid (*Stand-alone*)

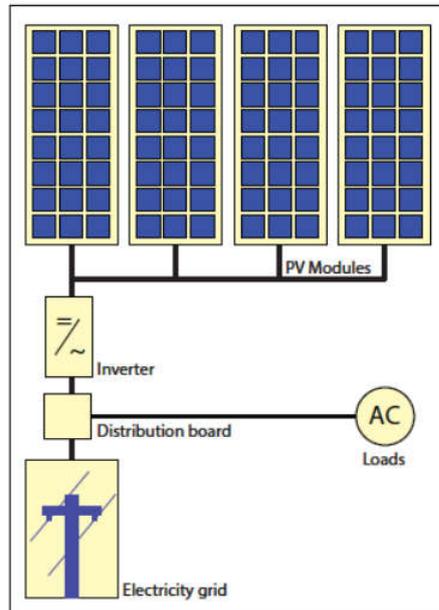
Sistem *stand-alone* mengandalkan tenaga surya sebagai satu-satunya sumber energi utama. Sistem ini terdiri dari modul PV dan beban atau disertai dengan baterai sebagai penyimpanan energi. Dapat digunakan pula baterai regulator yang berfungsi untuk mematikan modul PV ketika baterai digunakan, dan mematikan beban ketika baterai telah mencapai batas bawahnya. Suatu baterai harus mempunyai kapasitas yang cukup untuk menyimpan energi yang dihasilkan pada siang hari untuk digunakan di malam hari. Skematik sistem *stand-alone* dapat dilihat pada Gambar 2.4 Sistem *stand-alone* ini biasanya digunakan pada daerah-daerah yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik PLN.



**Gambar 2. 4** Sistem *off grid* (*Stand alone*) dilengkapi inverter dan baterai

b. Sistem *on grid* (*Grid-connected*)

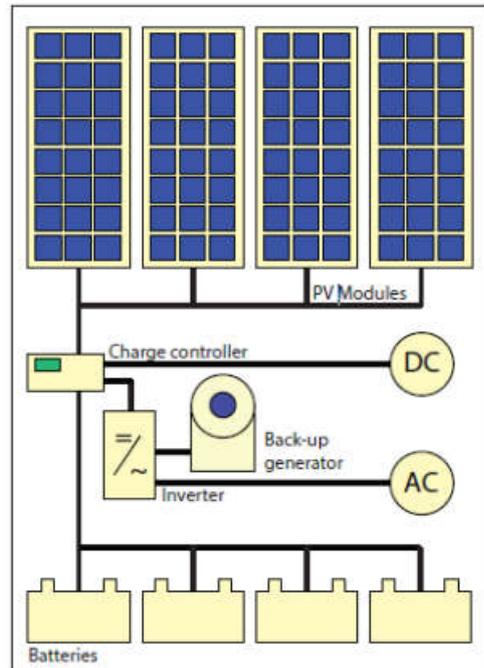
Sesuai namanya, maka sistem ini tetap terhubung dengan jaringan PLN untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi PV untuk menghasilkan energi listrik semaksimal mungkin. Sistem ini menjadi sistem yang banyak diaplikasikan. Untuk mengubah listrik DC menjadi listrik AC digunakan inverter. Dalam sistem kecil pada suatu rumah inverter akan terhubung pada suatu kontrol (*distribution board*). Listrik AC yang dihasilkan kemudian dapat digunakan untuk mengaktifkan peralatan rumah tangga. Pada sistem ini tidak memerlukan baterai dikarenakan tetap terhubung ke jaringan PLN yang bertindak sebagai penyangga pasokan listrik yang dihasilkan modul PV.



**Gambar 2. 5** Skema Sistem *Grid-connected*

c. Sistem *Hybrid*

Sistem *hybrid* ini mengombinasikan modul PV dengan pembangkit listrik lainnya seperti tenaga diesel, tenaga gas, atau tenaga angin. Metode ini bertujuan untuk mengoptimalkan energi listrik yang dihasilkan. Sistem hybrid biasanya membutuhkan kontrol yang lebih canggih dari pada sistem lainnya. Sistem hybrid ini dapat digunakan untuk daerah-daerah yang tidak terjangkau PLN ataupun pembangkit tenaga diesel yaitu dengan memanfaatkan energi terbarukan yang ada.



**Gambar 2. 6** Sistem *Hybrid* modul PV dan Generator

## 2.4. Kapasitas Komponen PLTS

### 2.4.1. Jumlah Panel Surya

Sebuah panel surya dapat beroperasi secara maksimal jika suhu panel lebih tinggi dari suhu normal pada panel surya akan melemahkan tegangan ( $V_{oc}$ ) yang di hasilkan. Setiap kenaikan suhu  $1^{\circ}\text{C}$  (dari suhu standar  $25^{\circ}\text{C}$ ) akan mengakibatkan berkurangnya daya yang menghasilkan sekitar 0,5%.

Menghitung besarnya daya yang berkurang pada saat suhu disekitar panel mengalami kenaikan  $^{\circ}\text{C}$  dari suhu standar, menggunakan rumus persamaan sebagai berikut :

$$P \text{ saat } t \text{ naik } 1,7^{\circ}\text{C} = 0,5\% * P_{mmp} * \text{kenaikan temperatur } (^{\circ}\text{C}) \dots\dots(2.1)$$

Daya keluaran maksimal panel surya pada saat suhu naik menjadi t°C dari suhu standar di hitung dengan persamaan rumus sebagai berikut:

$$P_{mmp \text{ saat naik menjadi } 26,7^{\circ}\text{C}} = P_{mmp} - P_{\text{saat } t \text{ naik } ^{\circ}\text{C}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Pmmp saat t naik menjadi t °C adalah daya keluaran maksimum panel surya pada saat suhu disekitar panel naik menjadi t °C dari suhu standar. Faktor koreksi temperature (*Temperatur Corrcction Factor*) dihitung dengan persamaan rumus sebagai berikut :

$$TCF = \frac{P_{mmp \text{ saat naik menjadi } t^{\circ}\text{C}}}{P_{mmp}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Daya (wattpeak) yang dibangkitkan PLTS untuk memenuhi kebutuhan energi, diperhitungkan dengan persamaan-persamaan sebagai berikut :

1. Menghitung area Arrey (PV Area)

Area array (PV Area) diperitungkan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$PV \text{ Area} = \frac{E_L}{G_{AV} \times TCF \times \eta_{PV} \times \eta_{out}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Di mana :

- $E_L$  = Energi yang dibangkitkan (kWh/hari)
- $G_{AV}$  = Intesitas Matahari harian ( $kW/m^2/hari$ )
- $TCF$  = *Temperatur Coefficient factor* (%)
- $\eta_{PV}$  = Efisiensi panel surya (%)
- $\eta_{out}$  = Efisiensi Keluaran (%) asumsi 0,9

2. Menghitung Daya yang dibangkitkan PLTS (watt peak)

Dari perhitungan area array, maka besar daya yang dibangkitkan PLTS (watt peak) dapat diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut :

$$P_{wattpeak} = PV \text{ area} \times PSI \times \eta_{PV} \text{ (watt)} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

PV Area = Luas permukaan panel surya

PSI = Peak Solar Insolation adalah 1.000 W/m<sup>2</sup>

$\eta_{PV}$  = Efisiensi panel surya (%)

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

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{P_{wattpeak}}{P_{mpp}} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

P<sub>wattpeak</sub> = Daya yang dibangkitkan (Wp)

P<sub>MPP</sub> = Daya maksimum keluaran panel surya (watt)

**2.4.2. Kapasitas Charge controller**

ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$\frac{\text{Demand watt} \times \text{Safety Factor}}{\text{System Voltage}} \text{ (ampere)} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana safety factor (faktor keamanan) ditentukan sebesar 1,25

### 2.4.3. Kapasitas Baterai/aki

Besar kapasitas baterai yang dibutuhkan untuk memenuhi konsumsi energi harian dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

Data yang diperlukan adalah jumlah hari otonomi yang ditentukan berdasarkan kondisi awan di daerah setempat. Jika daerah tersebut sering tertutup awan (daerah pegunungan), maka disarankan untuk menggunakan 3 hari otonomi dalam perhitungan. Jika daerah tersebut relatif cerah sepanjang tahun, maka jumlah hari otonomi cukup 2 hari.

$$C = \frac{N * E_d}{V_s * DOD * \eta} \text{ (Ah) .....(2.8)}$$

Dimana :

C = Kapasitas baterai (Ampere-hour)

N = Jumlah otonomi (hari)

E<sub>d</sub> = Konsumsi energi harian (kWh)

V<sub>s</sub> = Tegangan Baterai (volt)

DOD = Kedalaman maksimum untuk pengosongan baterai (%)

η = Efisiensi baterai x efisiensi inverter

### 2.4.4. Kapasitas Inverter

Kapasitas inverter ditentukan dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Cap.Inv} = \text{Demand watt} \times \text{Safety Factor} \text{ (watt) .....(2.9)}$$

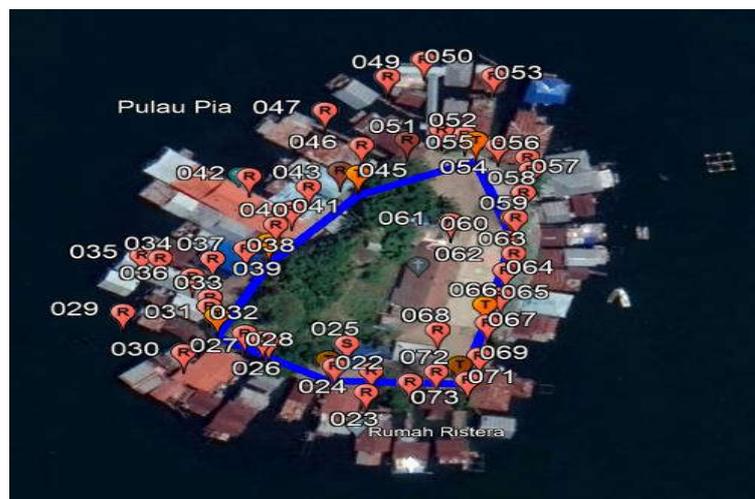
## 2.5. Gambaran Umum Kampung Atamali

### 2.5.1. Batas-batas Administratif

Kampung Atamali termasuk dalam wilayah Administratif Distrik Sentani Tengah Kabupaten Jayapura, dengan batas-batas wilayah sebagai berikut :

- Sebelah Utara berbatasan dengan Kampung Ivale dan Yoboi .
- Sebelah Selatan berbatasan dengan Kampung Abar.
- Sebelah Barat berbatasan dengan Kampung Simporo dan Babrongko
- Sebelah Timur berbatasan dengan Kampung Putali.

Kampung Atamali terletak disebelah tenggara kota Sentani dengan jarak sekitar 7,7 km yang dapat dicapai dalam waktu  $\pm$  20 menit dari Sentani dengan menggunakan kendaraan roda dua dan 10 menit dari kampung yahim dengan menggunakan motor temple (Jonson). Gambaran secara menyeluruh mengenai sketsa peta wilayah Kampung Atamali seperti ditunjukkan pada gambar 2.7 berikut :



**Gambar 2. 7** Peta tagging Kampung Atamali

### 2.5.2. Luas wilayah

Luas wilayah Kampung Atamali secara keseluruhan  $\pm$  0,772 Ha. Penggunaan peruntukan lahan oleh masyarakat Kampung Atamali secara alami dapat digambarkan dalam tabel 2.1 sebagai berikut :

No.	Obyek		Keterangan
	Pemukiman dan Bangunan		
1.	Luas kampung	7.720	m <sup>2</sup>
2.	Tempat Ibadah	365	m <sup>2</sup>
3.	Jalan kampung	400	m
4.	Lapangan Olahraga	217	m <sup>2</sup>

**Tabel 2. 1** Fungsi Lahan di Kampung Atamali

### 2.5.3. Kependudukan

Jumlah penduduk **Tabel 2. 2** Jumlah penduduk kampung Atamali

No	Penduduk	Kepadatan Penduduk
----	----------	--------------------

Kampung Atamali pada tahun 2022 sebanyak 285 jiwa yang terdiri dari 148 laki-laki dan 137 perempuan. Sebaran jumlah penduduk Kampung dengan 72 Kepala Keluarga (KK). Keseluruhan jumlah antara laki-laki dan perempuan dapat dilihat pada tabel 2.2 berikut:

	Sudah menikah		Belum menikah ( anak-anak dan dewasa)		
	Laki-laki	Perempuan	Laki-laki	Perempuan	
1.	72	72	75	66	
2.					
Jumlah					285

#### **2.5.4. Mata pencaharian**

Pada umumnya mata pencaharian utama penduduk kampung Atamali adalah petani dan nelayan. Nelayan di Kampung Atamali adalah nelayan tradisional karena mereka menangkap ikan dengan menggunakan alat-alat sederhana. selain itu banyak waktu yang juga dipakai untuk berladang dengan menanam berbagai jenis tanaman, umbi-umbian, buah-buahan dan lain-lain.

#### **2.5.5. Kondisi sosial budaya**

Sistem kepemimpinan Adat Kampung Atamali merupakan sistem kepemimpinan kolektif yang dipimpin oleh seorang kepala suku dari garis keturunan yang tertua. Secara umum sistem kepemimpinan kepala suku sebagaimana dimaksud didasarkan pada garis keturunan dengan hak utama melekat pada hak kesulungan.