

# ANALISIS KAPASITAS DAN BIAYA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) KOMUNAL DESA KALIWUNGU KABUPATEN BANJARNEGARA

Wisna Dwi Ariani<sup>\*)</sup>, Karnoto, and Bambang Winardi

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

<sup>\*)</sup>Email : wisnariani@gmail.com

## Abstrak

Energi listrik mengambil peran yang sangat penting bagi penunjang kehidupan manusia. Namun, keberadaan bahan bakar fosil yang digunakan pada kebanyakan pembangkit listrik semakin lama semakin menipis dan menghasilkan emisi karbondioksida. Hal itu menjadi faktor utama perkembangan energi baru terbarukan. Sel surya merupakan salah satu energi baru terbarukan yang memiliki potensial besar untuk digunakan di Indonesia. Desa Kaliwungu menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) komunal sebagai sumber energi listrik. Pada tugas akhir ini menggunakan data beban di Desa Kaliwungu untuk menentukan kapasitas sistem PLTS (photovoltaic array, baterai, charge controller, dan inverter), potensi pengurangan emisi karbondioksida, 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 2008a. 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 karbondioksida sebesar 3,640 ton CO<sub>2</sub>. Nilai NPW sebesar Rp -266.351.000,00, ACF sebesar Rp -23.894.600,00, FW sebesar Rp 714.063.000,00, B-CR sebesar 0,38505, dan PP selama 29 tahun.

*Kata kunci : PLTS, emisi karbondioksida, net present worth, annual cash flow analysis, benefit-cost ratio analysis, future worth, payback period.*

## Abstract

Electricity takes an important role for supporting human activities. However, the existence of fossil fuel used on most power plants is increasing out and produced carbon dioxide emissions. That issue became a factor the development of renewable energy. Solar cell or photovoltaic became one of the renewable energy which has great potential to be applied in Indonesia. Kaliwungu used communal photovoltaic system source of electrical energy. The final assignment used load data in Kaliwungu to determined the capacity solar systems (photovoltaic array, battery, charge controller, and inverter), the potential reduction of carbon dioxide emissions, cost, and economic analysis. Economic analysis is used to evaluated the continuity of the photovoltaic system. Analysis used several methods NPW (Net Present Worth), ACF (Annual Cash Flow analysis), B-CR (Benefit–Cost Ratio analysis), FW (Future Worth analysis), and PP (Payback Period). Calculated used software MATLAB 2008a. The result shows to supply the daily load at 8,922 kWh can be supplied from the photovoltaic system with a capacity up to 2,85 kWp, battery at 464,678 Ah, charge controller up to 60 A, and the inverters at 3500 W. For the potential carbon dioxide emissions reduction up to 3,640 ton CO<sub>2</sub>. The value Rp -266.351.000,00 for NPW, Rp -23.894.600,00 for ACF, Rp 714.063.000,00 for FW, B-CR was 0.3850, and 29 years for PP.

*Keywords : photovoltaic system, carbon dioxide emission, net present worth, annual cash flow analysis, benefit-cost ratio analysis, future worth, payback period.*

## 1. Pendahuluan

Energi merupakan salah satu kebutuhan utama dalam kehidupan manusia. Kebutuhan energi yang terus

meningkat dapat dijadikan sebagai indikator kemakmuran manusia, namun bersamaan dengan hal itu akan menimbulkan masalah dalam usaha penyediaannya. Sebagian besar manusia masih mengandalkan energi fosil

untuk memenuhi kebutuhan energi. Sehingga semakin lama energi fosil yang ada akan semakin menipis. Dalam *Outlook Energi Indonesia 2013*, pertumbuhan rata-rata kebutuhan energi diperkirakan sebesar 4,7% per tahun selama tahun 2011 - 2030.[9] Konsumsi berlebihan dari bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama telah berkontribusi terhadap berbagai permasalahan lingkungan, yang pada akhirnya mempercepat proses perubahan iklim secara global. Isu perubahan iklim yang salah satunya dipicu oleh penggunaan energi fosil telah mendorong berbagai pihak, khususnya pengguna energi untuk melakukan berbagai upaya, di antaranya dengan menggunakan energi terbarukan untuk mengurangi penggunaan energi fosil sehingga dapat mengurangi emisi gas rumah kaca. Untuk itu diperlukan upaya-upaya pengembangan teknologi yang mampu menyuplai kebutuhan energi dengan menggunakan energi terbarukan yang ramah lingkungan. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu aplikasi dari penggunaan energi terbarukan yang berpotensi diterapkan di Indonesia yang memiliki potensi radiasi matahari rata-rata 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/hari.[9] Dimana matahari merupakan sumber energi primer yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik.

Selain dapat menghasilkan energi listrik dari konversi energi cahaya matahari, sel surya memiliki kelebihan lainnya, yaitu keandalan tinggi, tidak ada pencemaran lingkungan (tidak menimbulkan emisi), dan tidak menimbulkan kebisingan, walaupun secara efisiensi masih perlu pertimbangan lebih jauh.

Beberapa faktor yang mempengaruhi efisiensi daya keluaran sel surya adalah radiasi matahari, temperatur sel surya, orientasi panel surya (*array*), sudut kemiringan panel surya (*array*), dan bayangan (*shading*).<sup>[18]</sup> Daya keluaran yang dihasilkan sel surya sangat bergantung pada radiasi yang diterima oleh modul, begitu pula dengan temperatur dari sel surya. Untuk memaksimalkan daya keluaran yang dihasilkan, maka sel surya harus memperoleh radiasi matahari maksimal dan dibutuhkan temperatur relatif rendah agar daya keluaran yang dihasilkan meningkat.[1]

Dalam penyediaannya, investasi untuk pemasangan PLTS cenderung mahal. Untuk itu, perlu adanya perhitungan biaya investasi awal yang harus dibayarkan. Selain itu berapa lama waktu pengembalian modal jika menggunakan pembangkit listrik tenaga surya. Selain itu, perlu ditentukan kapasitas dari peralatan yang digunakan dalam sistem PLTS seperti panel surya, baterai, *charge controller*, dan *inverter* terlebih dahulu.

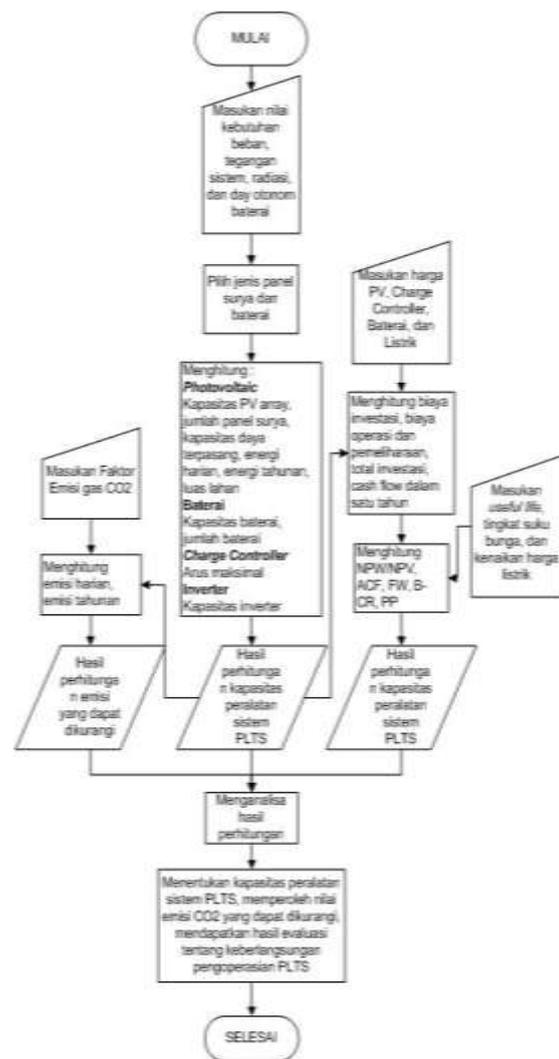
Dalam tugas akhir ini akan dilakukan analisis pemasangan PLTS komunal (terpusat) di Desa Kaliwungu Kabupaten Banjarnegara. Analisis dilakukan dari aspek keteknikkan, yaitu menentukan kapasitas peralatan-peralatan sistem PLTS (*photovoltaic*). Aspek lingkungan,

yaitu pengaruhnya dalam mengurangi emisi karbondioksida di atmosfer. Serta keberlangsungan pengoperasian PLTS jika dilihat dari aspek ekonomi.

## 2. Metode

### 2.1. Pembuatan Program Simulasi

Perancangan program analisis kapasitas dan biaya pembangkit listrik tenaga surya, dapat dilihat pada diagram alir sebagai berikut :



Gambar 1. Blok diagram alir program

Program terdiri dari 4 tampilan, yaitu halaman judul, perhitungan kapasitas PLTS, perhitungan potensi emisi karbondioksida yang dapat dikurangi, dan perhitungan biaya serta analisis ekonomi teknik. Untuk masukan data pada tampilan perhitungan kapasitas PLTS diperlukan data masukan berupa beban yang disuplai PLTS komunal Desa Kaliwungu terlihat pada Tabel 1, tegangan sistem yang digunakan, hari otonom baterai dan radiasi rata-rata matahari terukur di Banjarnegara sesuai dengan data

dari NASA yang terdapat pada Tabel 2. Untuk penentuan tegangan sistem mengacu pada Tabel 3.

Tabel 1. Data beban di Dusun Silangit Desa Kaliwungu

Beban	Daya (Watt)	Jumlah titik	Waktu pemakaian	Lama pemakaian (jam)	Jumlah rumah	Total (kWh)
Lampu (Rumah)	8	3	18.00-06.00	12	30	8,64
Lampu (Mushola)	8	2	18.00-21.00	3	1	0,048
Lampu (Umum)	8	1	18.00-21.00	3	1	0,024
Televisi (Umum)	70	1	18.00-21.00	3	1	0,21
Total Energi Keseluruhan						8,922

Tabel 2. Data radiasi terukur kota Banjarnegara

Bulan	Radiasi matahari (kWh/m <sup>2</sup> /hari)
Januari	4,33
Febuari	4,52
Maret	4,58
April	4,65
Mei	4,61
Juni	4,43
Juli	4,65
Agustus	4,94
September	5,19
Oktober	4,96
November	4,46
Desember	4,60
Rata-rata	4,66

Sumber : [www.eosweb.larc.nasa.gov](http://www.eosweb.larc.nasa.gov)

Tabel 3. Menentukan tegangan sistem[15]

AC Power Demand (Watts)	Inverter input Voltage (Volts DC)
< 1500	12
1500-5000	24 or 48
>5000	48 or 120

Untuk data masukan pada tampilan perhitungan potensi emisi karbondioksida yang dapat dikurangi berupa faktor emisi karbondioksida pembangkit listrik yaitu sebesar 0,756 kgCO<sub>2</sub>/kWh.[16] Sedangkan untuk tampilan perhitungan biaya dan analisis ekonomi teknik diperlukan data masukan berupa harga dari panel surya, baterai, *charge controller*, dan *inverter* serta harga penjualan energi listrik PLTS di Indonesia sebesar Rp 3.000,00/kWh [10], tingkat suku bunga *bank* sebesar 7,5% [24], dan *project life* yang direncanakan, yaitu 25 tahun.

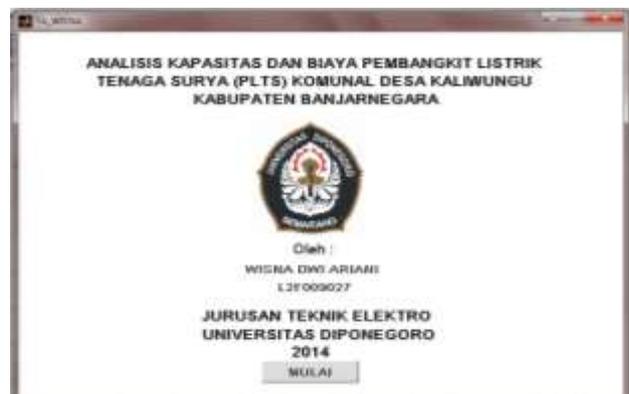
Hasil dari program pada penelitian ini berupa nilai kapasitas peralatan sistem PLTS, jumlah peralatan, potensi energi yang dihasilkan dan potensi emisi karbondioksida yang dapat dikurangi serta biaya investasi, pendapatan yang diperoleh, dan hasil dari perhitungan dengan metode ekonomi teknik seperti NPW, ACF, B-CR, FW, dan PP. Untuk hasil potensi energi yang dihasilkan, potensi emisi karbondioksida yang dapat dikurangi, dan lama waktu pengembalian modal dari

metode PP ditampilkan dalam bentuk grafik serta evaluasi keberlangsungan pengoperasian PLTS melihat hasil dari perhitungan metode ekonomi teknik di atas.

## 2.2 Pengoperasian Program Simulasi

Program analisis kapasitas dan biaya pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) komunal Desa Kaliwungu Kabupaten Banjarnegara dibuat dengan menggunakan GUI (*Graphic User Interface*) pada *Software* MATLAB 2008a. Penggunaan GUI bertujuan untuk memudahkan dalam hal pengoperasian program serta melihat hasil dari perhitungan kapasitas peralatan sistem PLTS, potensi emisi karbondioksida yang dapat dikurangi, dan perhitungan biaya dan analisis ekonomi teknik untuk mengevaluasi keberlangsungan pengoperasian PLTS.

Tampilan halaman judul, perhitungan kapasitas sistem PLTS, perhitungan emisi karbondioksida yang dapat dikurangi, serta perhitungan biaya dan analisis ekonomi teknik dari program “Analisis Kapasitas dan Biaya Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Komunal Desa Silangit Kabupaten Banjarnegara” terlihat pada Gambar 2, 3, 4, dan 5 berikut.



Gambar 2. Tampilan awal program



Gambar 3. Tampilan perhitungan kapasitas PLTS

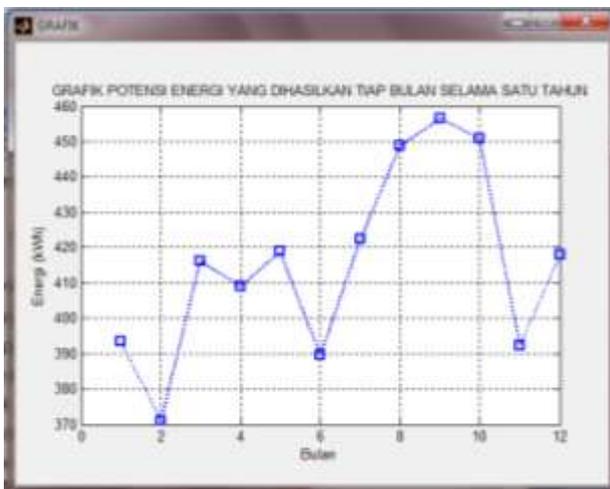


Gambar 4. Tampilan perhitungan pengurangan emisi CO<sub>2</sub>



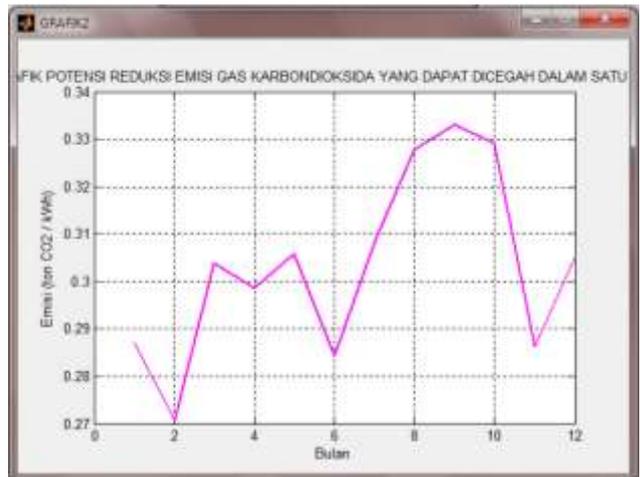
Gambar 5. Tampilan perhitungan biaya dan analisis ekonomi teknik

Grafik potensi energi yang dihasilkan oleh PLTS dalam satu tahun pada program dapat dilihat pada Gambar 6. berikut.



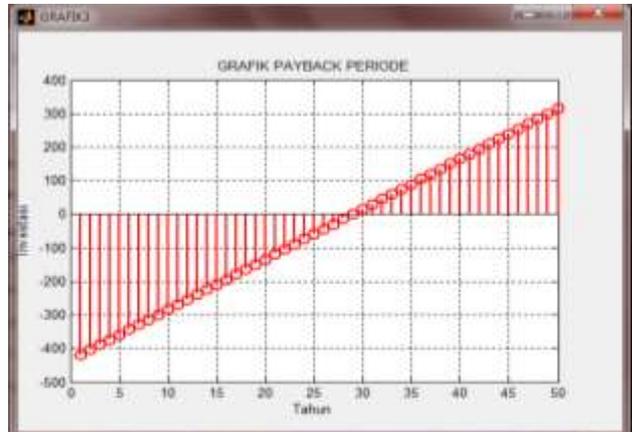
Gambar 6. Tampilan grafik potensi energi yang dihasilkan PLTS

Grafik potensi emisi yang dapat dikurangi oleh PLTS dalam satu tahun pada program dapat dilihat pada Gambar 7. berikut.



Gambar 7. Tampilan grafik potensi emisi yang dapat dikurangi oleh PLTS

Grafik hasil perhitungan lama pengembalian modal dengan metode *payback period* pada program dapat dilihat pada Gambar 8. berikut.



Gambar 8. Tampilan grafik hasil metode *payback period*

### 3. Hasil Dan Analisa

#### 3.1 Validasi Program Analisis Pemasangan PLTS Komunal Desa Kaliwungu Kabupaten Banjarnegara

Untuk mengetahui hasil perhitungan program sudah berjalan dengan benar, perlu dilakukan validasi dengan memasukkan data penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya dan selanjutnya menganalisis apakah hasil antara perhitungan program dengan hasil dari penelitian yang sebelumnya dilakukan. Validasi menggunakan penelitian yang berjudul perancangan PLTS untuk tempat tinggal di Purwokerto<sup>[18]</sup>.

Data hasil program dan penelitian perancangan PLTS untuk tempat tinggal di Purwokerto dapat dilihat pada Tabel 4. berikut ini.

**Tabel 4. Data hasil perhitungan program Matlab dan penelitian sebelumnya**

Variabel	Hasil perhitungan program Matlab	Hasil penelitian sebelumnya <sup>[18]</sup>
Perkiraan Beban	3,542 kWh	3,542 kWh
Kapasitas sistem PLTS	0,836 kWp	0,9 kWp
Kapasitas terpasang	0,864 kWp	0,864 kWp
Jumlah modul	18	18
Kapasitas baterai	184,479 Ah	184,479 Ah

Dari Tabel 4. Diketahui bahwa hasil perhitungan program Matlab memiliki hasil yang sama dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan di kota Purwokerto [18].

### 3.2 Menentukan Kapasitas Peralatan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Jumlah beban keseluruhan di Dusun Silangit Desa Kaliwungu Kecamatan Mandiraja Kabupaten Banjarnegara sebesar 8.922 Wh (8,922 kWh). Hasil perhitungan menunjukkan kapasitas daya terpasang pada PLTS adalah sebesar 2,85 kilo watt peak. Potensi energi rata-rata bulanan yang dapat dihasilkan photovoltaic array sebesar 415,59 kWh/m<sup>2</sup>/hari dan potensi jumlah energi tahunannya sebesar 4987,13 kWh/m<sup>2</sup>. Luas lahan yang diperlukan untuk pemasangan sistem PLTS adalah seluas 23,91 m<sup>2</sup>. Pada PLTS di Desa Kaliwungu menggunakan modul surya BP Solar model BP3150N yang memiliki kapasitas daya 150 Wp per modul, dengan jumlah modul yang digunakan sebanyak 36 modul. Sehingga kapasitas photovoltaic array terpasang sebesar 5 kWp dengan luas lahan sebesar 45,3045 m<sup>2</sup>.

Pada sistem stand-alone jumlah hari otonom baterai ditentukan berdasarkan jumlah hari dimana baterai tetap dapat menyuplai beban jika modul surya tidak dapat menghasilkan listrik karena tidak mendapatkan radiasi matahari (cuaca mendung atau hujan). Pada tugas akhir ini, menggunakan hari otonom baterai selama 2 hari. Dari perhitungan program diperoleh besar kapasitas baterai sebesar 464,687 Ah. Dengan menggunakan spesifikasi baterai 2 V 600 Ah, dibutuhkan baterai sebanyak 24 unit dan baterai hanya dirangkai seri. Dalam kenyataannya banyak sekali spesifikasi baterai yang dapat digunakan. Salah satu contoh jenis baterai yang dapat digunakan adalah berbagai jenis baterai lead acid, seperti yang digunakan pada PLTS Desa Kaliwungu yaitu Hoppecke OPzV 600 merupakan baterai standar kualitas Jerman dengan tegangan nominal baterai sebesar 2 V dan kapasitas baterai sebesar 600 Ah.

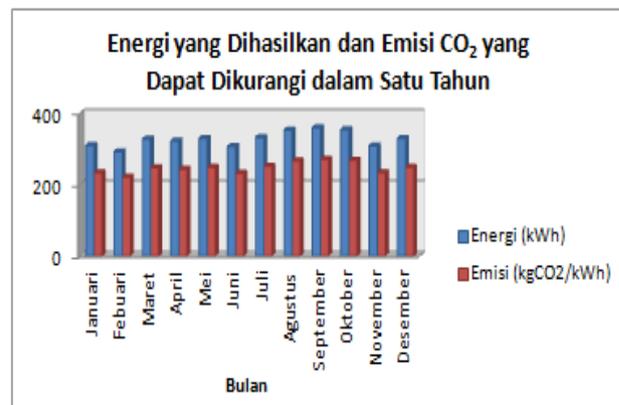
Hasil dari perhitungan program didapatkan arus maksimal yang dihasilkan sistem sebesar 59,375 A. Sehingga pemilihan kapasitas dari charge controller yang dapat dipilih adalah harus mempunyai spesifikasi yang lebih besar atau sama dengan 59,375 A. Sedangkan jika mengacu kapasitas yang dipasaran, maka untuk arus

maksimal 59,375 A kapasitas charge controller yang digunakan adalah kapasitas 60 A.

Inverter yang digunakan harus sesuai tegangan sistem PLTS dan berdasarkan perhitungan arus maksimal charge controller, maka tegangan input inverter yang digunakan adalah 48 Volt DC dan tegangan keluaran inverter adalah 220 Volt AC sesuai dengan tegangan listrik jala - jala. Dengan tegangan sistem sebesar 48 V maka kapasitas dari inverter yang digunakan adalah sebesar 2,85 kW (2850 W). Sehingga dapat menggunakan inverter dengan kapasitas 3500 W, 48 V DC.

### 3.3 Perhitungan Emisi Gas Karbondioksida

Dengan mengetahui jumlah energi yang dapat dihasilkan dari pemasangan PLTS dan data faktor emisi gas karbondioksida pembangkit listrik [16], dapat diketahui besar emisi yang dapat dikurangi jika menggunakan PLTS sebagai sumber energi listrik. Dari hasil perhitungan pada tugas akhir ini diperoleh potensi energi yang dapat dihasilkan PLTS dalam satu tahun sebesar 4987,13 kWh/m<sup>2</sup>, dengan faktor emisi gas karbondioksida pembangkit listrik sebesar 0,730 kgCO<sub>2</sub>/ kWh. Sehingga dapat diperoleh potensi emisi gas karbondioksida yang dapat dikurangi dalam satu tahun sebesar 3,640 tonCO<sub>2</sub>.



**Gambar 9. Grafik potensi energi yang dihasilkan dan emisi CO<sub>2</sub> yang dapat dikurangi dalam satu tahun**

### 3.4 Perhitungan Biaya dan Ekonomi Teknik

Pada tugas akhir ini dilakukan perhitungan biaya investasi, biaya operasi dan pemeliharaan serta pendapatan yang diterima setiap tahunnya. Hasil perhitungan biaya adalah sebagai berikut. Dengan memasukan semua biaya peralatan yang dibutuhkan diketahui biaya investasi yang harus dikeluarkan sebesar Rp 412.500.000,00, biaya operasional dan pemeliharaan sebesar Rp 20.625.000,00, sehingga biaya keseluruhan yang harus dikeluarkan adalah sebesar Rp 433.125.000,00 dengan pendapatan pertahun sebesar Rp 14.961.400,00.



Gambar 10. Hasil perhitungan analisis ekonomi teknik

Untuk perhitungan dengan menggunakan metode ekonomi teknik didapatkan nilai NPW sebesar Rp -266.351.000,00, ACF sebesar Rp -23.894.600,00, FW sebesar Rp 714.063.000,00, B-CR sebesar 0,3850 dan PP selama 29 tahun jika pendapatan yang diterima setiap tahunnya tetap. Berikut adalah grafik laju aliran kasnya.



Gambar 11. Laju aliran kas untuk pendapatan tetap per tahun.

Apabila terjadi kenaikan harga listrik setiap tahunnya maka lama pengembalian modal pada tahun ke 22.



Gambar 12. Laju aliran kas jika terjadi kenaikan harga listrik sebesar 5% setiap tahun.

### 3.5 Analisis Iuran Warga Terhadap Keberlangsungan PLTS

Masing-masing peralatan PLTS mempunyai umur pemakaian yang berbeda-beda. Seperti umur pemakaian baterai yang biasanya hanya mencapai 5 tahun. Untuk itu diperlukan biaya penggantian baterai yang harus ditanggung oleh warga. Dimana di Dusun Silangit terdapat 30 kepala keluarga. Berikut rincian untuk biaya yang harus dibayarkan oleh warga dengan lama *project life* 25 tahun, maka terjadi 5 kali penggantian baterai.

Tabel 4.5 Rincian biaya yang harus dikeluarkan warga Dusun Silangit Desa Kaliwungu

	Rincian
Biaya untuk penggantian baterai	Rp 216.000.000,00
Total biaya penggantian baterai	Rp 1.080.000.000,00
Biaya operasional	Rp 20.625.000,00/ tahun

Dari rincian di atas dapat diperoleh total biaya yang harus dibayarkan oleh warga untuk penggantian baterai dan operasional dalam jangka waktu 5 tahun sebesar Rp 308.625.000,000. Sehingga setiap kepala keluarga harus membayar iuran sebesar Rp 171.458,00/bulan dengan rincian Rp 120.000.000,00 untuk penggantian baterai dan Rp 51.458,00 untuk biaya operasional.

Pada PLTS Desa Kaliwungu warga hanya mengeluarkan iuran sebesar Rp 10.000,00/ bulan untuk masing-masing kepala keluarga. Dengan total iuran yang dapat terkumpul setelah jangka waktu 5 tahun sebesar Rp 18.000.000,00. Dilihat pada tahun pertama PLTS berjalan sudah dapat dilihat bahwa jumlah iuran warga hanya berjumlah Rp 3.600.000,00 sedangkan biaya operasional yang diperlukan adalah sebesar Rp 18.525.000,00.

Untuk itu iuran warga tidak dapat menutup biaya operasional yang harus dibayarkan. Hal tersebut yang mengakibatkan jika terjadi kerusakan pada peralatan atau penggantian peralatan yang sudah tidak berfungsi lagi warga tidak dapat untuk mengganti atau memperbaikinya. Hal tersebut mengakibatkan PLTS komunal di Desa Kaliwungu hanya beroperasi selama 2 tahun saja (2008-2009).

### 3.6 Validasi

Validasi hasil perhitungan yang dilakukan oleh MATLAB 7.6.0 (R2008a) perlu dilakukan untuk mengetahui kesesuaian data dengan di lapangan. Untuk mengetahui kesesuaian hasil perhitungan dilakukan dengan 2 macam validasi, yaitu validasi hasil program dengan PLTS yang terpasang di Desa Kaliwungu, dan validasi hasil perhitungan dengan *software RETScreen* untuk membandingkan biaya, metode ekonomi teknik dan emisi yang dapat dikurangi dari pemakaian PLTS.

### 3.5.1 Validasi Hasil Program dengan PLTS terpasang di Desa Kaliwungu

Pembangkit listrik tenaga surya di Dusun Silangit Desa Kaliwungu Kecamatan Mandiraja Kabupaten Banjarnegara mempunyai kapasitas sebesar 5 kWp. Berikut adalah hasil validasi MATLAB dan PLTS Desa Kaliwungu.

Tabel 5. Hasil validasi

	Perhitungan MATLAB (R2008a)	PLTS Desa Kaliwungu
Kapasitas terpasang	2,85 kWp	5 kWp
Jumlah Panel	19	36
Jumlah baterai	24	24
Charge controller	60 A	59 A
Inverter	3500 W	5000 W
Beban yang disuplai	8922 watt	8922 watt

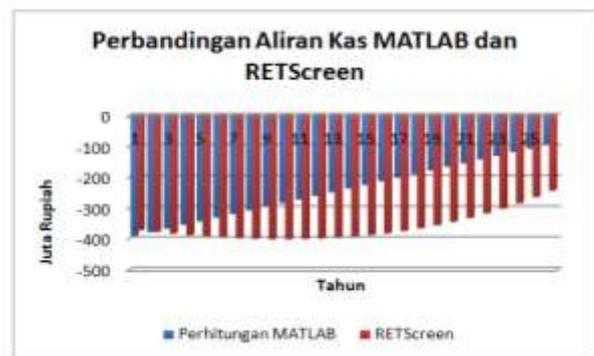
Terdapat perbedaan pada kapasitas terpasang dan jumlah modul surya yang digunakan. Hal tersebut terjadi karena hasil perhitungan dari program Matlab merupakan perhitungan minimum kapasitas yang harus terpasang. Untuk penentuan *charge controller* yang digunakan hanya memiliki selisih yang masih dalam kapasitas yang mendekati sama. Sedangkan untuk kapasitas inverter yang digunakan sesuai dengan kapasitas yang terpasang.

### 3.5.2 Validasi Hasil Perhitungan MATLAB dengan Software RETScreen

RETScreen adalah *software* yang dikeluarkan oleh Badan Pengkaji Energi Kanada yang berfungsi sebagai *software* analisis energi-energi terbarukan seperti *photovoltaic*, turbin angin, dan energi ombak. Analisis utama dari *software* RETScreen berupa produksi energi yang dihasilkan oleh sumber – sumber energi terbarukan, biaya pembangkitan listrik dengan menggunakan sumber energi terbarukan, dan emisi gas yang dihasilkan oleh pembangkit – pembangkit yang bersumber dari energi terbarukan serta efisiensi dari penggunaan sumber energi terbarukan sebagai pengganti energi konvensional. Dengan menggunakan *software* RETScreen diperoleh data validasi sebagai berikut.

Tabel 6. Data hasil validasi menggunakan software RETScreen

	Perhitungan MATLAB	RETScreen
Pengurangan emisi CO <sub>2</sub>	3,6406 ton CO <sub>2</sub>	2,5 ton CO <sub>2</sub>
Biaya investasi + operasional	Rp 433.125.000,00	Rp 433.124.796,00
Income / pendapatan	Rp 20.625.00,00	Rp 20.624.796,00
NPV / NPW	Rp -266.351.000,00	Rp -362.958.153,00
Annual cash flows	Rp -23.894.600,00	Rp -32.561.220,00
Benefit-cost ratio	0,39	0,12
Payback period	29 Tahun (>project life)	>project



Gambar 13. Grafik perbandingan aliran kas pada perhitungan MATLAB dan RETScreen

Gambar 13. Merupakan analisis *payback period* dari dua perhitungan yang dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB dan *RETScreen*. Hasil dari kedua perhitungan di atas diperoleh waktu pengembalian modal yang relatif bersamaan. Perhitungan dengan menggunakan *software* MATLAB diperoleh waktu selama 29 tahun, sedangkan analisis *payback period* pada *RETScreen* diperoleh waktu selama 20 tahun.

## 4. Kesimpulan

Kapasitas peralatan sistem *photovoltaic* pada Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Dusun Silangit Desa Banjarnegara Kecamatan Mandiraja Kabupaten Banjarnegara terhitung pada perhitungan MATLAB kapasitas *photovoltaic array* sebesar 2,85 kWp. Jumlah modul surya yang digunakan sebanyak 19 unit. Kapasitas baterai 464,687 Ah, jumlah baterai yang digunakan sebanyak 24 unit. Untuk arus maksimal yang dapat mengalir pada *charge controller* sebesar 59,375 A, digunakan *charge controller* dengan kapasitas arus maksimal sebesar 60 A. Dan daya maksimal untuk *inverter* sebesar 2850 Watt, sehingga digunakan *inverter* berkapasitas 3500 Watt 48 V DC.

Potensi energi yang dihasilkan oleh PLTS Desa Kaliwungu dengan kapasitas 2,85 kWp adalah 4987,13 kWh per tahun. Sehingga diperoleh pengurangan emisi gas karbondioksida sebesar 3,640 ton CO<sub>2</sub>.

Biaya total investasi yang dikeluarkan untuk investasi peralatan sistem *photovoltaic* sebesar Rp 433.125.000,00 dengan rincian biaya investasi peralatan Rp 412.500.000,00 dan biaya operasi dan pemeliharaan senilai Rp 20.625.000,00. Dengan pendapatan Rp 19.961.400,00 setiap tahun. Untuk nilai *net present value* / *worth* Rp -266.351.000,00 *annual cash flows analysis* sebesar Rp -23.894.600,00. Untuk *benefit-cost ratio* sebesar 0,3850, *future worth* sebesar Rp 714.063.000,00. Dan waktu pengembalian modal tepat di akhir *project life* yaitu 29 tahun. Namun jika terdapat kenaikan harga listrik

sebesar 5% per tahun, lama waktu pengembalian modal terjadi pada tahun ke 20.

Keberlangsungan pengoperasian PLTS Komunal Desa Kaliwungu sangat bergantung pada biaya operasional dan pemeliharaan yang harus dipenuhi. Hanya dengan iuran warga sebanyak Rp 3.600.000,00/tahun tidak dapat menutupi biaya operasional sebesar Rp 20.625.000,00 dan biaya penggantian baterai. Itulah mengapa PLTS Komunal Desa Kaliwungu tidak dioperasikan kembali setelah terjadi kerusakan. Selain itu tidak adanya prediksi beban ke depan mengakibatkan PLTS tidak dapat menyuplai beban jika terjadi kenaikan beban, sehingga PLTS hanya bersifat sementara.

## Referensi

- [1]. Astrawan Putra, Putu Yudi. *Perancangan dan Pembuatan Simulasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)*. Universitas Pendidikan Ganesha. Singaraja. 2007.
- [2]. *Bahan Ajar Matakuliah Elektronika Daya (Inverter)*. Teknik Elektro-Universitas Diponegoro. Semarang.
- [3]. Duffie, John A. and William A. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*, 3<sup>th</sup>, Jon Wiley & Sons, Inc, New Jersey, 2006.
- [4]. Firmansyah, Rizki. *Pengaruh Kebijakan Pemerintah dalam Perencanaan Sistem Kelistrikan Bangka untuk Mendukung Rencana Aksi Daerah Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca*. Pusat Pengembangan Energi Nuklir. ISSN 0854-2910.
- [5]. Gati, Thomas, Ferdinan, Yohanes. *Desain Photovoltaic di Kontrakan Ferdinan dengan Menggunakan RETScreen®Energy Model-Photovoltaic Project*. Universitas Gajah Mada. Jogjakarta. 2006.
- [6]. Larasati, Pangestunigtyas Diah. *Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya Terhadap Radiasi Matahari yang Diterima oleh Panel Surya Tipe Array Tetap*. Universitas Diponegoro. Semarang. 2013.
- [7]. Maters, Gilbert M. *Renewable and Efficient Electric Power System*. A John Wiley & Sons. Inc. 2004.
- [8]. Newnan, Donald G. *Engineering Economic Analysis Third Edition*. Binapura Aksara. 1990.
- [9]. *Outlook Energi Indonesia 2013*. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. Indonesia. 2013.
- [10]. *Peraturan Menteri ESDM 17*. Kementrian Energi Sumber Daya Mineral. Indonesia. 2013.
- [11]. Putro, Haryono. *Ekonomi Teknik*. Universitas Guna Darma. Yogyakarta.
- [12]. Salengke. *Draf Buku Ajar Matakuliah Ekonomi Teknik*. Universitas Hasanuddin. 2011.
- [13]. Saodah, Siti dan Nasrun Haryanto. *Analisis Teknik dan Ekonomi Power Hybrid (Solar Cell-Genset) sebagai Sumber Daya pada BTS Selular*. Simposium Nasional RAPI X FT UMS-2011.
- [14]. Shahinzadeh, Hossein dkk. *Technical and Economic Study for Use The Photovoltaic System for Electricity Supply in Isfahan Museum Park*. International Journal of Scientific and Technology Research Volume 2. ISSUE 1. 2013.
- [15]. *Stand-Alone Photovoltaic System*. Daystar, Inc. Las Cruces. SAND87-7623. New Mexico. 1995.
- [16]. Sugiyono, Agus. *Peran PLTN dalam Mendukung Komitmen Pemerintah untuk mengurangi Emisi CO2*. Prosiding Seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir III. 2010
- [17]. Suhedi, Fefen. *Emisi CO2 dari Konsumsi Energi Domestik*. Pusat Litbang Permukiman. 2006.
- [18]. Syahputra, Rhezi. *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem Stand Alone Kapasitas 900 Watt Peak untuk Rumah Tinggal di Purwokerto*. Universitas Jenderal Soedirman. Purwokerto. 2013.
- [19]. *Tinjauan Pustaka*. Universitas Udayana. Bali.
- [20]. Widiasanti, Adista Ayu. *Analisis Penempatan Sel Surya pada Atap Setengah Lingkaran sebagai Aplikasi Sistem Tenaga Off Grid*. Universitas Diponegoro. Semarang. 2013.
- [21]. Wisnugroho. *Percepatan Pembangunan Pembangkit Energi Baru dan Terbarukan di PLN Wilayah NTT*. PT PLN (Persero) wilayah Nusa Tenggara Timur. 2013.
- [22]. [eosweb.larc.nasa.gov](http://eosweb.larc.nasa.gov)
- [23]. [http://www.esdm.go.id/berita/56-artikel/3347-pemanfaatan-energi-surya-diindonesia.html?tmpl=component&print=1&page\\_jumat,22112013 20:11](http://www.esdm.go.id/berita/56-artikel/3347-pemanfaatan-energi-surya-diindonesia.html?tmpl=component&print=1&page_jumat,22112013%20:11)
- [24]. [bi.go.id](http://bi.go.id)
- [25]. <http://jurnalbumi.wordpress.com/2013/02/07/2020-indonesia-peringkat-empat-penyumbang-emisi/> rabu, 09042014 19:00