

Evaluasi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya On Grid di Laboratorium B PLN UPDL Pandaan

Evaluation on On-Grid Solar Cell Usage in Laboratorium B PLN UPDL Pandaan

Suhardhika Sih Sudewanto¹ and Munawar Agus Riyadi^{*2}

¹I PLN UPDL Pandaan

Jl. Surabaya-Malang KM-50, Pandaan, Pasuruan 67156, Indonesia

²Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang

Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

suhardhika@gmail.com¹, munawar@elektro.undip.ac.id^{2*}

Abstrak – Pemerintah telah menetapkan program untuk mencapai target bauran energi dari energi baru dan terbarukan (EBT). PLN UPDL Pandaan turut serta menyukseskan program ini dengan membangun sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di atap gedung Laboratorium B. PLTS yang dibangun adalah tipe on grid dengan kapasitas 8 kWp. Komponen PLTS on grid adalah panel photovoltaic (PV), inverter, pengaman dan aksesoris pendukung. Dengan evaluasi efisiensi dari sisi produksi dan pemakaian, serta analisis finansial kebutuhan pelatihan, pemasangan PLTS on grid diharapkan mampu menurunkan pembayaran listrik. Selain itu, PLTS on grid ini bisa dijadikan sebagai modul pembelajaran baru di PLN UPDL Pandaan. Hasil perhitungan dan eksperimen menunjukkan penghematan lebih dari 30% per tahun dan NPV > 0. Dengan demikian, PLTS ini layak untuk dibangun dan dikembangkan pada gedung lainnya.

Kata Kunci: PLTS, energi baru dan terbarukan, on grid, penghematan energi.

Abstract – The government has set a program to achieve the energy mix target of new and renewable energy (EBT). PLN UPDL Pandaan participated in this program by building a Solar Power Plant (PLTS) system on the roof of the Laboratory B building. The PLTS being built is of the on-grid type with capacity of 8 kWp. PLTS on grid components are photovoltaic (PV) panels, inverters, safety and supporting accessories. By evaluating efficiency in terms of production and use, as well as financial analysis of training needs, PLTS on grid is expected to reduce electricity payments. In addition, this on-grid PLTS can be used as a new learning module at PLN UPDL Pandaan. The results of calculations and experiments show savings of more than 30% per year and NPV > 0. Thus, this PLTS is feasible to build and develop on other buildings.

Keywords: PLTS, renewable energy, on grid, energy saving.

1. Pendahuluan

Konsumsi energi masyarakat terus bertambah dari tahun ke tahun. Penambahan ini harus diimbangi dengan pasokan daya yang mencukupi dari perusahaan penyedia energi. Seiring dengan perkembangan teknologi dan kewajiban untuk memanfaatkan teknologi yang ramah lingkungan, PLN sebagai salah satu perusahaan penyedia energi listrik yang ditunjuk pemerintah

untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat Indonesia, mendapat tugas untuk mencapai target bauran energi dari Energi Baru Terbarukan (EBT) sebesar 23% di tahun 2025. Bauran ini bisa bersumber dari panas bumi, air, angin ataupun sinar matahari [1]. Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan EBT dengan mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik. PLTS bisa dijadikan sebagai alternatif pasokan energi untuk berbagai keperluan contohnya untuk perkantoran [2], perikanan [3][4], penerangan desa [5][6], pompa air [7] dan bahkan untuk kebutuhan komunikasi penanganan bencana alam [8]

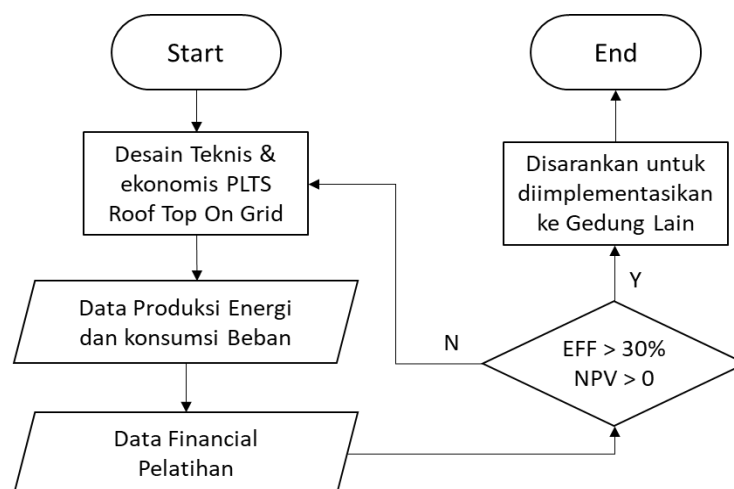
PLN UPDL Pandaan sebagai salah satu unit di PLN yang bergerak di bidang pendidikan dan pelatihan ikut mengambil peran dalam mendukung program bauran EBT dengan membangun PLTS. PLN UPDL Pandaan memanfaatkan PLTS tipe *on-grid*, dengan pemasangan model rooftop. Artinya, PLTS dipasang pada atap gedung dan terhubung ke jaringan PLN. PLTS tipe *on grid* memerlukan tegangan PLN untuk dapat bekerja normal. Walaupun PLTS *on grid* akan berhenti beroperasi jika tegangan dari PLN hilang, namun berdasar penelitian terdahulu, penggunaan sistem *on-grid* lebih menekan biaya dibandingkan sistem *off-grid* [9]. PLTS di UPDL Pandaan digunakan sebagai alternatif pasokan energi untuk kebutuhan pelatihan sehingga berpotensi mengurangi biaya listrik tahunan. Selain itu fasilitas PLTS bisa dimanfaatkan untuk pelaksanaan pelatihan baru terkait dengan EBT khususnya materi pengoperasian PLTS.

Beberapa penelitian terdahulu telah memanfaatkan PLTS *on-grid* untuk beberapa keperluan. Pada penelitian Naim dkk [5], PLTS *on-grid* telah dimanfaatkan untuk sistem kelistrikan Desa Timampu Kecamatan Towuti, namun hanya sebesar 1500 Watt. Sistem serupa juga digunakan di penelitian di skala lab [10],[11] maupun sekolah[12], namun dengan daya yang terbatas. Di sisi lain, perhitungan untung-rugi dan efisiensi sistem *on grid* untuk rentang waktu yang lama belum tersedia di penelitian-penelitian terdahulu.

Berkaitan dengan masalah di atas, makalah ini bertujuan untuk memberikan evaluasi tentang untung-rugi pemasangan PLTS *on-grid* untuk skala yang cukup besar, dengan mengambil kasus PLTS yang telah terpasang di UPDL Pandaan. Evaluasi ini mencakup perhitungan penghematan biaya tahunan yang mungkin diperoleh dari penggunaan PLTS *on grid* dan potensi finansial terkait pelatihan baru.

2. Metode Penelitian

PLN UPDL Pandaan telah membangun PLTS *on grid* untuk menghemat pemakaian energi listrik dan sebagai pilot project pembelajaran di bidang pembangkit EBT. Panel PV sebesar total 8kWp dibangun di Laboratorium B. Untuk evaluasi akan dilakukan dengan menghitung penghematan biaya listrik dan potensi finansial terkait pelatihan baru. Hasil evaluasi akan digunakan untuk pengembangan ke depan. *Flowchart* evaluasi ditunjukkan di Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Evaluasi PLTS On Grid

2.1. Instalasi PLTS

PLTS *on grid* yang telah terpasang di Laboratorium B PLN UPDL Pandaan membutuhkan berbagai macam komponen untuk beroperasi. Komponen tersebut adalah panel fotovoltaik (PV), inverter, pengaman, aksesoris, dan kWh meter *export-import* (EXIM). Instalasi panel PV dilakukan di atap gedung Laboratorium B PLN UPDL Pandaan. Untuk *inverter* dan pengaman dipasang di dalam gedung. Spesifikasi umum komponen PLTS dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Umum PLTS Laboratorium B.

Komponen Penyusun PLTS	
Panel PV	8 kWp
Inverter	8 kW
DC Isolator	63 A
Combiner Box	63 A
Terminal Box	1 lot

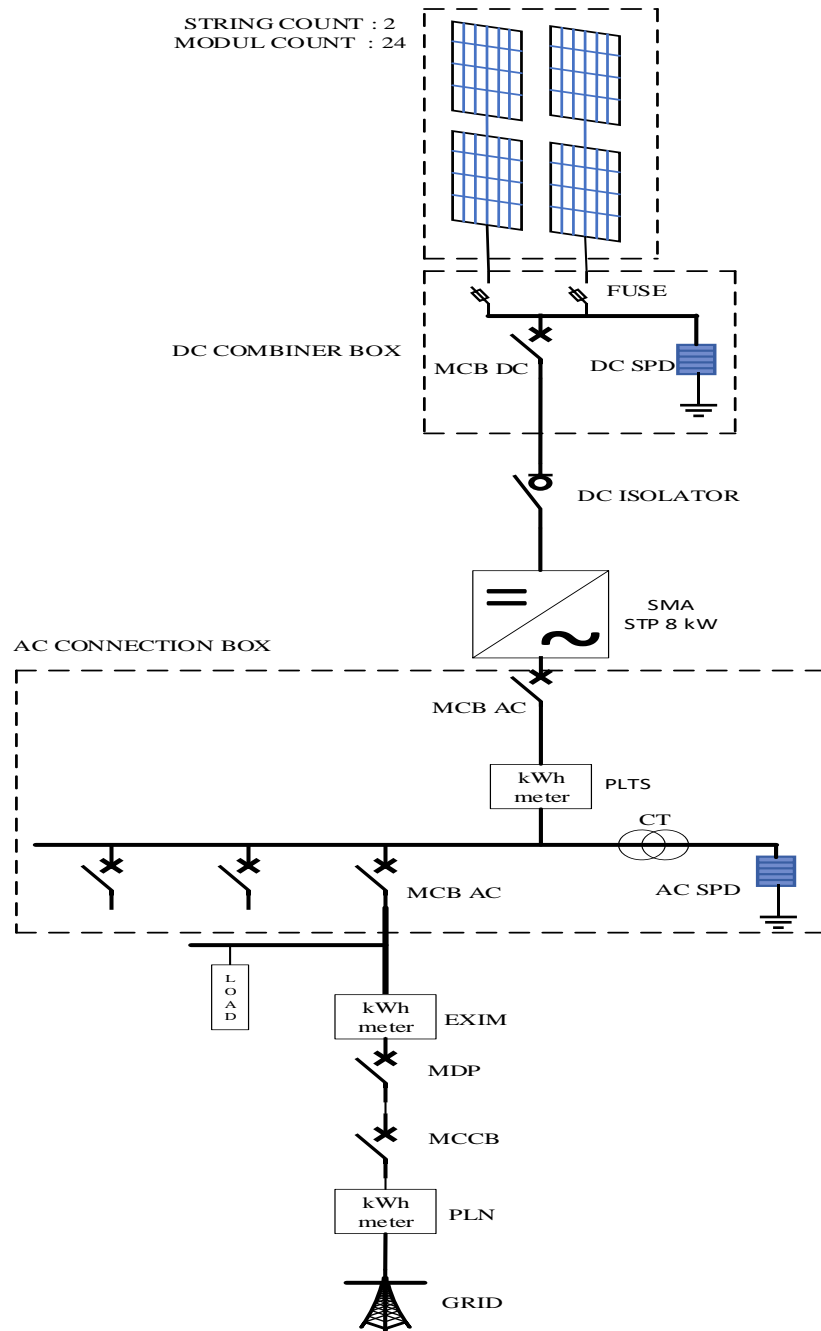
Lay out pemasangan PLTS *on grid* di atap maupun komponen terkait sesuai dengan Gambar 2 dan Gambar 3. *Wiring diagram* pemasangan PLTS *on grid* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 2. *Lay out* panel PV *outdoor* yang diletakkan di atas atap.



Gambar 3. *Lay out* komponen *indoor*.



Gambar 4. Wiring diagram PLTS On-Grid.

2.2. Panel PV

Panel PV mengkonversi cahaya matahari ke energi listrik dalam bentuk arus dan tegangan DC. Satuan daya yang dipakai adalah *Watt Peak (WP)*, tegangan PV tertinggi saat *open circuit* dinyatakan dengan *Voc* dan arus tertinggi saat *short circuit* dinyatakan sebagai *Isc*. Konfigurasi pada panel PV bisa menggunakan konfigurasi seri atau konfigurasi paralel. Konfigurasi seri akan menambah nominal tegangan pada arus tetap. Sedangkan konfigurasi paralel akan menambah nominal arus pada tegangan yang sama [13]. Tipe panel PV yang dipakai di UPDL Pandaan adalah tipe *monokristalin* dengan jumlah panel 24, di konfigurasi dalam 2 string. Spesifikasi panel di PLN UPDL Pandaan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Panel PV.

Data Teknis	
Tipe <i>solar cell</i>	Monokristalin
<i>Max Power</i>	340 W
<i>Max Voltage</i>	37,8 V
<i>Max Current</i>	9 A
Voc	46,1 V
Isc	9,5 A

2.3. Inverter on-grid

Inverter berfungsi untuk mengkonversi arus dan tegangan DC dari panel PV menjadi arus dan tegangan AC yang akan dipakai untuk memasok beban. Inverter *on grid* akan sinkron dengan grid saat beroperasi dan memiliki kemampuan untuk melepaskan hubungan saat terjadi hilang tegangan dari grid/PLN (*anti-islanding system*) [14].

Komponen pengamanan bertujuan untuk mengamankan rangkaian DC (panel PV) dan rangkaian AC (output inverter). Komponen pengamanan terdiri dari fuse, MCB DC, MCB AC, Surge Protector Device (SPD) dan DC Isolator. Sementara itu, terdapat aksesoris terdiri dari dudukan panel, kabel, konektor, grounding dan panel wiring instalasi. Aksesoris dipasang sesuai kebutuhan. Untuk mengetahui penggunaan energi, digunakan kWh meter EXIM yang mencatat ekspor-impor energi antara PLTS dan PLN. Untuk mendapatkan kWh meter EXIM ada beberapa prosedur yang harus dipenuhi. Pemasangan kWh meter adalah kewenangan PLN setempat.

2.4. Investasi pemasangan

Untuk mengetahui manfaat finansial dari PLTS di UPDL Pandaan, perlu diketahui terlebih dulu biaya total material dan pemasangan. Biaya ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rincian biaya material dan pemasangan.

Nama Barang	Jumlah	Harga (Rp)	
	(pcs/lot)	Satuan	Total
Modul Surya Monocrystalline (340 Wp)	24	4.375.220	105.005.300
Inverter <i>On Grid</i> (STP 8000TL), 8 Kwp	1	66.756.200	66.756.200
Proteksi –DC Isolating (SISO63S), 63A	1	532.000	532.000
Panel Listrik – AC Connection Box, 10 KVA, 3 Phase	1	7.975.000	7.975.000
Panel Listrik Combiner Box 1000 VDC	1	5.280.000	5.280.000
Support Module- Roof Mounted, 8 kWp	1	1.776.500	1.776.500
Kwh Meter Exim	1	4.300.000	4.300.000
LED 32 Inch	1	2.250.000	2.250.000
Total Biaya			193.875.000

2.5. Kriteria Evaluasi

Evaluasi pembangunan PLTS *on-grid* dilakukan dengan 2 metode. Metode pertama adalah dengan menghitung besarnya penghematan biaya listrik yang dibayarkan.

$$B = KE \times P_{kwh}, \quad (1)$$

$$E = PL \times 0.65 P_{kwh}, \quad (2)$$

$$Eff = \frac{E}{B} 100\%, \quad (3)$$

dimana B adalah biaya listrik yang dibayarkan per tahun, KE adalah total konsumsi energi (dalam kWh) per tahun, P_{kwh} adalah harga jual listrik PLN per kWh, E adalah nilai ekspor listrik ke sistem PLN per tahun, PL adalah produksi listrik yang dihasilkan PV dalam kWh per tahun, dan *Eff* adalah efisiensi atau penghematan biaya per tahun.

Metode kedua adalah menghitung kelayakan dan manfaat investasi terkait dengan biaya pelaksanaan pembelajaran di Laboratorium B PLN UPDL Pandaan. Dasar perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$HOP = A \cdot Sw \cdot H_{eff}, \quad (4)$$

$$Plt = HOP \cdot BKS, \quad (5)$$

$$Rev = HOP \cdot tarif, \quad (6)$$

$$NPV = \frac{R_t}{(1+i)^t}, \quad (7)$$

dimana HOP adalah Hari Orang Pembelajaran, A adalah jumlah angkatan, Sw adalah jumlah siswa, H_{eff} adalah hari efektif pembelajaran, Plt adalah biaya pelatihan total, BKS adalah biaya kebutuhan siswa per HOP, Rev adalah revenue pelatihan, $tarif$ adalah tarif pelatihan per HOP, NPV adalah *Net Present Value* yaitu rasio perbedaan antara nilai sekarang dari arus kas masuk dan nilai sekarang dari arus kas keluar selama periode waktu tertentu, R_t adalah arus kas saat t , i adalah *Discount Rate* dan t adalah umlah periode waktu / umur investasi. NPV dikatakan baik bila bernilai positif (>0) [15].

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Evaluasi Produksi Energi dan Beban

Untuk menghitung potensi penghematan yang ada, perlu diketahui data produksi dan beban harian aktual di Laboratorium B. Produksi energi PLTS adalah jumlah kWh yang dihasilkan oleh komponen sistem PV yang dibaca oleh kWh meter. Produksi dihitung per hari, dan diakumulasikan sampai satu bulan. Sedangkan beban harian adalah jumlah kWh yang terpakai oleh peralatan di gedung Laboratorium B. Data produksi PLTS dan perkiraan beban harian dapat dilihat pada Tabel 4, Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 4. Data produksi PLTS *On Grid* UPDL Pandaan selama 1 Tahun.

Bulan	Produksi (kWh)
Januari	861,20
Pebruari	778,67
Maret	925,55
April	987,00
Mei	1022,45
Juni	1041,03
Juli	1129,19
Agustus	1168,71
September	1135,48
Oktober	1039,58
Nopember	965,55
Desember	669,89
Annual	11.724,30
Rata-rata Produksi per Bulan	977,025

Tabel 5. Data konsumsi energi per hari untuk ruang staf, kamar mandi, ruang trafo, ruang proteksi dan selasar.

Peralatan	Jumlah	Konsumsi Energi		Total kWh
		Watt	Hour	
Air Conditioner	5	746	10	37,3
Lampu tipe 1	45	20	10	9,0
Lampu tipe 2	12	40	10	4,8
Komputer	3	350	10	10,5
Printer/Scanner	3	100	2	0,6
Water Heater	1	650	10	6,5
Blower Fan	4	50	10	2,0
Total Konsumsi				70,7

Tabel 6. Data Konsumsi Energi per Hari untuk 1 Ruang Kelas Aktif

Peralatan	Jumlah	Konsumsi Energi		Total kWh
		Watt	Hour	
Air Conditioner	2	746	10	14,92
Lampu tipe 2	6	40	10	2,40
Proyektor	1	180	8	1,44
Sound System	1	90	8	0,72
Total Konsumsi				19,48

*Catatan : Terdapat 4 ruang kelas di Laboratorium B dengan lay out yang sama

Sesuai Tabel 5 dan Tabel 6, total konsumsi energi di Laboratorium B dalam setahun dapat dihitung sebagai berikut.

- Konsumsi energi dengan asumsi pemakaian 24 hari kerja per bulan untuk ruang staf, kamar mandi, ruang trafo, ruang proteksi dan selasar = 12 bulan x 24 hari x 70,7 kWh = 20.361,6 kWh
- Konsumsi energi 4 ruang kelas dimana masing-masing kelas jika diasumsikan dipakai selama 10 hari kerja dalam 1 tahun = 10 hari x 4 kelas x 19,48 kWh = 779,2 kWh

Dengan nilai harga jual listrik PLN per kWh untuk pelanggan kategori B3/TM diatas 200 kVA sebesar Rp 1.035,78,- [16], maka berdasarkan persamaan (1) dan (2) total produksi dan biaya listrik dapat dihitung sebagai berikut.

- Total biaya listrik Gedung Laboratorium B per tahun = $(20.361,6 + 779,2)$ kWh x Rp 1.035,78,- per kWh = Rp 21.897.218,-
- Total produksi listrik PLTS on-grid per tahun yang diekspor ke PLN dan dikonversikan ke biaya listrik sesuai tarif PLN terbaru adalah $11.724,30$ kWh x 0,65 x Rp 1.035,78,- per kWh = Rp 7.893.467,-

Dari data tersebut, berdasar persamaan (3), penghematan biaya listrik yang bisa diperoleh dari pemasangan PLTS on-grid di Gedung Laboratorium B adalah $(7.893.467/21.897.218) \times 100\% = 36,04\%$. Dengan potensi penghematan diatas 30%, maka pemasangan PLTS on-grid bisa diaplikasikan ke gedung lainnya.

3.2. Evaluasi Investasi Terhadap Pelaksanaan Pembelajaran

Gedung Laboratorium B tempat PLTS on-grid terpasang digunakan untuk kegiatan pelatihan Pengoperasian Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dan Pengoperasian Gardu Distribusi. Dalam 1 tahun, masing-masing pelatihan dilaksanakan secara bertahap dalam 2 angkatan. Per angkatan terdiri dari 12 orang siswa dan dilaksanakan selama 5 hari kerja.

Dari data ini, berdasarkan persamaan (4), diperoleh bahwa untuk pelatihan Pengoperasian JTR akan menghasilkan 2 angkatan x 12 orang x 5 hari = 120 Hari Orang Pembelajaran (HOP). Sedangkan untuk pelatihan Pengoperasian Gardu Distribusi akan menghasilkan 2 angkatan x 12 orang x 5 hari = 120 HOP. Total pelatihan yang dilaksanakan di Gedung laboratorium B adalah 240 HOP.

Dengan data investasi pembangunan PLTS *on grid* sebesar Rp 193.875.000,-, tarif pelatihan per siswa per hari Rp 1.100.000,-, biaya kebutuhan siswa per HOP Rp 700.000, jangka waktu investasi 5 tahun dan asumsi suku bunga 10%, maka Net Present Value (NPV) dapat dihitung sesuai Tabel 7.

Tabel 7. Data unsur biaya, unsur produksi dan NPV untuk pelatihan eksisting.

Tahun	Unsur Biaya			HOP	Unsur Produksi		Revenue-Biaya	Kumulatif
	Biaya Investasi	Biaya Pelatihan	Total Biaya		Tarif Pelatihan	Total Revenue		
1	193.875.000	168.000.000	361.875.000	240	1.100.000	264.000.000	(97.875.000)	(97.875.000)
2		168.000.000	168.000.000	240	1.100.000	264.000.000	96.000.000	(1.875.000)
3		168.000.000	168.000.000	240	1.100.000	264.000.000	96.000.000	94.125.000
4		168.000.000	168.000.000	240	1.100.000	264.000.000	96.000.000	190.125.000
5		168.000.000	168.000.000	240	1.100.000	264.000.000	96.000.000	286.125.000
								NPV = 187.665.530

Catatan : Biaya per HOP = 700.000

Dengan investasi awal sebesar Rp. 193.875.000,- dan cash flow Rp. 168.000.000,- setiap tahunnya, maka diperoleh NPV sebesar Rp 187.665.530,- yang berarti NPV > 0, sehingga investasi ini memberikan manfaat bagi perusahaan.

PLTS *on-grid* juga memberikan kemungkinan penambahan pelatihan baru, yaitu Pengoperasian PLTS *On-Grid* dan Koneksi ke JTR. Dengan asumsi pembelajaran ini dilaksanakan selama 5 hari kerja dan 2 angkatan per tahun, dimana per angkatan terdiri dari 12 siswa, maka akan menghasilkan 2 angkatan x 12 orang x 5 hari = 120 HOP. Dengan menambahkan data dari pelatihan yang lainnya, maka akan didapatkan total 360 HOP, sehingga terjadi perubahan pada NPV sesuai dengan Tabel 8.

Tabel 8. Data unsur biaya, unsur produksi dan NPV dengan tambahan 1 pelatihan baru.

Tahun	Unsur Biaya			HOP	Unsur Produksi		Revenue-Biaya	Kumulatif
	Biaya Investasi	Biaya Pelatihan	Total Biaya		Tarif Pelatihan	Total Revenue		
1	193.875.000	252.000.000	445.875.000	360	1.100.000	396.000.000	(49.875.000)	(49.875.000)
2		252.000.000	252.000.000	360	1.100.000	396.000.000	144.000.000	94.125.000
3		252.000.000	252.000.000	360	1.100.000	396.000.000	144.000.000	238.125.000
4		252.000.000	252.000.000	360	1.100.000	396.000.000	144.000.000	382.125.000
5		252.000.000	252.000.000	360	1.100.000	396.000.000	144.000.000	526.125.000
								NPV = 369.623.295

Catatan : Biaya per HOP = 700.000

Dengan penambahan HOP menjadi 360 HOP per tahun, maka diperoleh NPV sebesar Rp .369.623.295,- Dari data ini, maka pembangunan PLTS *on-grid* bisa memberikan nilai tambah secara finansial.

Dari hasil perhitungan di atas, terlihat bahwa terdapat manfaat finansial dari pembangunan PLTS *on-grid*. Penghematan yang mencapai 36,04% dan nilai NPV yang diperoleh menunjukkan bahwa dalam jangka panjang (5 tahun), keuntungan finansial dapat diperoleh dengan pemasangan PV dengan kapasitas 8 kWp. Hasil ini selaras dengan penelitian lain di skala yang lebih kecil (1500W) [12] yang juga memberikan keuntungan teknik dan finansial. Di sisi lain, PLTS *on grid* pada kapasitas 8 kWp di penelitian ini memberikan NPV dalam 5 tahun yang lebih menguntungkan dibandingkan dengan implementasi pada PLTS *off grid* 10MW di penelitian lain [17] yang memberikan menunjukkan NPV sebesar Rp 1.037.071.430 selama 25 tahun, yang berdasarkan perhitungan simulasi. Dengan demikian, pengembangan ini memberi keuntungan

yang menjanjikan di masa depan, baik pada pembangunan fasilitas serupa di laboratorium lain maupun dengan penambahan load pelatihan di fasilitas yang tersedia.

4. Kesimpulan

PLTS *on-grid* yang sudah terpasang di PLN UPDL Pandaan secara finansial dapat memberikan penghematan terhadap pembayaran listrik dan membuka peluang penambahan pelatihan baru. Hasil pengukuran implementasi di Laboratorium B dan perhitungan yang diberikan untuk produksi energi listrik selama setahun menunjukkan penghematan yang signifikan dengan kemampuan ekspor daya ke jaringan PLN. Perhitungan NPV juga menunjukkan investasi yang menguntungkan dalam rentang 5 tahun. Selain itu, adanya fasilitas PLTS *on-grid* secara umum memberikan opsi penambahan pengetahuan, keilmuan dan tempat praktek untuk peningkatan kompetensi pegawai dan memperluas implementasi pembangkitan berbasis EBT di lingkungan PLN pada khususnya dan di Indonesia pada umumnya.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Manajemen PLN UPDL Pandaan yang telah memberikan *support* bagi pelaksanaan publikasi ini.

Referensi

- [1] Dewan Energi Nasional (DEN), *Bauran Energi Nasional 2020*. Jakarta: Dewan Energi Nasional, 2020.
- [2] A. G. Hutajulu, M. RT Siregar, and M. P. Pambudi, "Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On Grid di Ecopark Ancol," *TESLA J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 1, 2020, doi: 10.24912/tesla.v22i1.7333.
- [3] N. Nurhadi, K. Khambali, K. Kasijanto, M. Rifa'i, and C. Wiharya, "Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Sebagai Penggerak Pompa Air Kolam Lele Baponik di UKM Citara Desa Banjararum, Kec. Singosari, Kab. Malang," *J. Apl. DAN Inov. IPTEKS "SOLIDITAS"*, vol. 4, no. 1, 2021, doi: 10.31328/js.v4i1.1782.
- [4] F. Nurosyid, A. Supriyanto, R. Suryana, and Y. Iriani, "Aplikasi PLTS On Grid Pada Usaha Pembesaran Lele," *J. Kewirausahaan dan Bisnis*, vol. 22, no. 12, 2019, doi: 10.20961/jkb.v22i12.26616.
- [5] M. Naim and S. Wardoyo, "Rancangan Sistem Kelistrikan PLTS on Grid 1500 Watt Dengan Back Up Battery di Desa Timampu Kecamatan Towuti," *Din. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 2, 2017.
- [6] V. R. Kossi, "Perencanaan PLTS Terpusat (Off-Grid) Di Dusun Tikalong Kabupaten Mempawah," *J. SI Tek. Elektro UNTAN*, vol. 2, no. 1, pp. 1–8, 2018.
- [7] K. B. Kusuma, C. G. I. Partha, and I. W. Sukerayasa, "Perancangan Sistem Pompa Air Dc Dengan Plts 20 kWp Tianyar Tengah Sebagai Suplai Daya Untuk Memenuhi Kebutuhan Air," *J. SPEKTRUM*, vol. 7, no. 2, 2020.
- [8] C. Mahardhika, M. Ramdhani, and D. A. Nurmantris, "Perancangan dan Implementasi Stasiun Radio Pancar Ulang Portabel frekuensi VHF untuk Bencana Alam," *Univ. Telkom*, vol. 1, no. 2, pp. 1518–1526, 2015.
- [9] R. Jalaluddin and Y. M. Safarudin, "Perbandingan Biaya Perancangan Plts On-Grid dan Off-Grid pada Laboratorium Listrik PPSDM MIGAS," in *Prosiding Seminar Nasional NCIET*, 2020, vol. 1, no. 1, pp. 162–169.
- [10] I. B. K. Sugirianta, I. G. N. A. D. Saputra, and I. G. A. M. Sunaya, "Modul praktek PLTS on-grid berbasis micro inverter," *Matrix J. Manaj. Teknol. dan Inform.*, vol. 9, no. 1, pp. 19–26, 2019.
- [11] F. Hidayat, D. Rusirawan, and I. R. F. Tanjung, "Evaluasi Kinerja PLTS 1000 Wp di Itenas Bandung," *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 7, no. 1, p. 195, 2019.

- [12] I. F. N. Diansyah, S. Handoko, and J. Windarta, "Implementasi dan Evaluasi Performa Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) On Grid Studi Kasus SMP N 3 Purwodadi," *Transient J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 10, no. 4, pp. 701–708, 2022.
- [13] G. Eccleston, *Solar & 12 Volt Power For Beginners*. George Eccleston, 2018.
- [14] R. Sianipar, "Dasar Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya," *Jetri J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 11, no. 2, pp. 61–78, 2017.
- [15] M. A. Ridho, B. Winardi, and A. Nugroho, "Analisis Potensi dan Unjuk Kerja Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro Menggunakan Software PVSYST 6.43," *TRANSIENT*, vol. 7, no. 4, 2019, doi: 10.14710/transient.7.4.883-890.
- [16] KepmenESDM, *No. T-162/TL.04/MEM.L/2022 Penyesuaian Tarif Tenaga Listrik Periode Juli - September 2022*. Menteri ESDM, 2022.
- [17] M. R. Sepriadi, "Kajian Jaringan Distribusi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Off-Grid 10 Mw di Pulau Selayar Sulawesi Selatan," Sekolah Tinggi Teknik PLN, 2020.