



Analisis Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Secara Ekonomi; Sebuah Review Berdasarkan Studi Literatur di Indonesia

Heri Suropto^{a,*}, Ahmad Fathoni^a,

^aProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Pasir Pengaraian, Jl. Tuanku Tambusai, Rambah, Pasir Pengaraian, Kabupaten Rokan Hulu, Riau 28558

INFO ARTIKEL

Histori artikel:
 Diajukan 23 November 2019
 Diterima dalam bentuk revisi 13
 Desember 2019
 Diterima 30 Desember 2019
 Tersedia Online 11 Januari 2020

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan dalam upaya untuk mereview penelitian sebelumnya yang dilakukan pada Analisis Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Secara Ekonomi di Indonesia. Penelitian ini membahas masalah Teknis nilai ekonomi pada PLTS. Beberapa analisis ekonomi PLTS telah dibahas, dari perhitungan nilai NPV hingga perhitungan umur sistem PLTS. Komponen sistem PLTS terdiri dari panel surya, solar charge controller, baterai, inverter dan keandalan aplikasi yang berkaitan dengan sistem PLTS. Mayoritas studi yang dilaporkan dalam literatur ini didasarkan pada Nilai NPV dan lifetime dari sistem PLTS di Indonesia. Beberapa studi berpendapat bahwa nilai NPV dari PLTS menampilkan kelayakan untuk di bangun, sementara beberapa studi berpendapat lifetime dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya memiliki lifetime rata-rata diatas 20 tahun, dengan masa pengembalian modal membutuhkan waktu selama 10 tahun, sehingga arus kas kumulatif sudah melebihi nilai investasi awal dengan umur PLTS 20 tahun, yang berarti investasi PLTS layak untuk diterapkan. Hasil review yang dipaparkan dalam artikel ini akan menjadi referensi dalam desain dan pengembangan sistem PLTS.

Kata kunci: kelayakan PLTS; nilai ekonomi; NPV PLTS; lifetime

E – MAIL

heri.suroptodotone@gmail.com

ABSTRACT

This research was conducted to review previous research conducted on the Economic Feasibility Analysis of Solar Power Plants (PLTS) in Indonesia. This study discusses the technical problem of economic value in PLTS. Several economic analyzes of PV mini-grid have been discussed, from calculating the NPV value to calculating the age of the PLTS system. The components of the PLTS system consisting of solar panels, solar charge controllers, batteries, inverters, application reliability related to the PLTS system have been discussed. The majority of studies reported in this literature are based on the NPV and lifetime values of the PV mini-grid system in Indonesia. Some studies argue that the NPV value of PLTS displays the feasibility of being built, while some studies argue that the lifetime of a Solar Power Plant has an average lifetime of more than 20 years, with a payback period of 10 years, so the cumulative cash flow has exceeded the value. The initial investment with PLTS age of 20 years, which means that PLTS investment is feasible to apply. The review results presented in this article will serve as a reference in the design and development of the PV mini-grid system.

Key words: PLTS qualification; economic value; NPV PLTS; lifetime

I. PENDAHULUAN

Penggunaan sumber energi terbarukan dalam pembangkit listrik skala besar salah satu solusi untuk

mengurangi emisi gas rumah kaca dan menjadi sumber energi yang menjadi prioritas dalam pemanfaatan energi terbarukan [1]. Energi terbarukan

memiliki potensi yang sangat besar untuk memenuhi kebutuhan energi. Banyak penelitian yang terus dilakukan untuk meningkatkan sumber energi terbarukan. Pemanfaatan sumber energi terbarukan ditujukan untuk membuat sistem untuk menghindari pemanasan global dan emisi karbon [2].

Penelitian terkait pemanfaatan energi terbarukan telah banyak dilakukan, seperti pemanfaatan energi terbarukan solar cell. Perancangan dan pembuatan hingga estimasi kelayakan pembangkit listrik solar cell secara ekonomi telah dilakukan oleh peneliti terdahulu, seperti penelitian [3] Analisis keekonomian penerapan pembangkit listrik tenaga surya pada sistem Tenaga Listrik Nias menyimpulkan berdasarkan biaya energi dari PLTS yang direncanakan di area Nias lebih murah Rp. 307,02/kWh dari biaya bahan bakar dari PLTD yang beroperasi di Area Nias. Jika 20 % PLTS dapat diterapkan maka dapat menghemat 1,95 juta liter bahan bakar per tahunnya yang setara dengan Rp. 2,16 miliar per tahun.

Selanjutnya [4] tentang analisis tekno ekonomi penerapan PLTS on grid pada sistem kelistrikan biak papua menyimpulkan kelayakan penerapan COE PLTS On Grid Biak dapat diterapkan karena dapat menghasilkan Daya sebesar 2370 kWp dengan biaya sebesar Rp 1.496/kWh (setara dengan US\$ 11 sen per kWh), hasil ini di bawah harga tarif listrik yang ditetapkan dalam Permen ESDM No. 17 Tahun 2013 yaitu dibawah US\$ 25 – 30 sen per kWh. dimana Nilai NPV diperoleh hasil sebesar Rp. 45.035.236.938 dimana hasil tersebut diatas 0 atau positif. Masa pengembalian modal membutuhkan waktu selama 16 tahun, sehingga arus kas kumulatif sudah melebihi nilai investasi awal dengan umur PLTS 25 tahun.

Penelitian [5] tentang Desain dan Analisa Kelayakan PV-Diesel-Grid Sistem Hibrid di Institut Teknologi Sumatera (ITERA) menyimpulkan dengan menggunakan sistem PV-Grid tanpa menggunakan generator ini didapatkan penetrasi energi terbarukan sebesar 18.5% dan jaringan PLN 81.5% nilai tersebut secara ekonomi sangat layak untuk diterapkan karena dari solar PV energi didapatkan secara gratis sehingga biaya untuk bahan bakar tidak dengan batasan tadi selama 25 tahun. Selanjutnya penelitian [6] tentang Analisis biaya manfaat energi Surya untuk mendukung pasokan energi *integrated cold storage* di SKPT Kota Sabang menyimpulkan penerapan sistem hibrid PLTS terhadap proyek *integrated cold storage* menghasilkan pendapatan produksi per tahun mencapai Rp.85.048.568.450 pada tahun pertama, dengan rata-rata per tahun Rp 103.744.632.042, dengan ini dapat menghemat dengan pemanfaatan

PLTS sebesar Rp. 307.328.175. Selanjutnya penelitian [7] tentang Analisis kelayakan rekondisi PLTS 400 kW menyimpulkan analisis kelayakan finansial dari hasil analisis kelayakan finansial rekondisi skema 2 dengan metode Net Present Value (NPV) dan metode Internal Rate of Return (IRR) diperoleh hasil layak pada kedua metode karena keuntungan yang diperoleh dapat menutupi biaya investasi yang dikeluarkan.

Selanjutnya penelitian [8] tentang perencanaan dan analisis ekonomi PLTS terpusat untuk desa mandiri menyimpulkan Potensi energi yang dihasilkan oleh PLTS Desa Kaliwungu dengan kapasitas 2,85kWp adalah 4987,13 kWh per tahun. Biaya total investasi yang dikeluarkan untuk investasi peralatan sistem photovoltaic sebesar Rp 433.125.000,- besar rincian besar biaya investasi modal peralatan Rp 412.500.000,- dan biaya operasional dan biaya pemeliharaan sebesar Rp 20.625.000,-. Dengan besar pendapatan Rp 14.961.400,- tiap tahun. Untuk nilai net present value /worth sebesar Rp -266.351.000,-, annual cash flows analysis sebesar Rp -23.894.600,-. Untuk benefit-cost ratio adalah 0,3850, future worth sejumlah Rp 714.063.000,-. Dengan waktu pengembalian investasi di akhir project life selama 29 tahun. Jika kenaikan tarif listrik sebesar 5%/tahun, waktu pengembalian investasi modal akan terjadi tahun ke 20. Selanjutnya penelitian [9] tentang kajian aspek teknis dan aspek biaya investasi proyek PLTS pada atap beton gedung menyimpulkan PLTS pada atap beton gedung RS. Mitra Kenjeran Surabaya layak untuk dilaksanakan dengan ketentuan suku bunga dibawah 11% dan nilai tukar 1 USD = Rp. 9.500,- serta umur proyek 25 tahun. Penelitian ini menggunakan metode metode Net Present Value (NPV), Profitability Index (PI) dan Discounted Payback Period (DPP) kemudian dilakukan pengujian sensitivitas terhadap perubahan kurs dollar Amerika.

Penelitian [10] tentang kajian penggunaan pembangkit listrik photovoltaik atap sebagai upaya implementasi *green campus* menyimpulkan analisis dengan investasi awal \$4.522,952, maka seluruh biaya pemakaian listrik yang akan dibayarkan kepada PLN akan berkurang secara signifikan, dan jika diperhitungkan akan mampu mengembalikan investasi awal selama 15,4 tahun. Pemasangan PLTS ini cocok untuk menjadi pertimbangan. Selanjutnya penelitian [11] tentang Perencanaan teknis dan ekonomis PLTS sistem on-grid menyimpulkan kondisi PLTS gedung terpadu layak untuk dikembangkan usahanya dengan pemakaian sistem PLTS sebesar 20 tahun dengan biaya total investasi sebanyak Rp. Rp. 6.263.989.000

dan dengan analisis finansial yang didapatkan adalah Pay Back Period (PBP) bernilai 18 tahun.

Selanjutnya penelitian [12] tentang analisis ekonomi perencanaan PLTS di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro menyimpulkan sistem PLTS di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro adalah sebesar Rp1.586.269.500. Berdasarkan hasil simulasi HOMER besar pendapatan selama 25 tahun sebesar Rp 968.666.432. Setelah dilakukan perhitungan analisis ekonomi teknik untuk sistem PLTS yang akan dirancang dinyatakan tidak layak untuk diinvestasikan, karena pendapatan yang didapat dari penjualan energi listrik dengan harga jual energi listrik ke PLN sebesar Rp840,2/kWh tidak mampu menutup biaya investasi. Berdasarkan hasil simulasi PVsystem besar pendapatan selama 25 tahun sebesar Rp1.236.214.973. Setelah dilakukan perhitungan analisis ekonomi teknik untuk sistem PLTS yang akan dirancang dinyatakan tidak layak untuk diinvestasikan, karena pendapatan yang didapat dari penjualan energi listrik dengan harga jual energi listrik ke PLN sebesar Rp 840,2/kWh tidak mampu menutup biaya investasi. Analisis sensitivitas hasil simulasi HOMER dapat dikatakan layak apabila harga jual energi listrik ke PLN sebesar Rp 1932,8/kWh karena pendapatan selama 25 tahun sebesar Rp 1.612.299.262 sudah mampu menutup biaya investasi. Analisis sensitivitas hasil simulasi PVsystem dapat dikatakan layak apabila harga jual energi listrik ke PLN sebesar Rp 1440,2/kWh karena pendapatan selama 25 tahun sebesar Rp 1.610.831.598 sudah mampu menutup biaya investasi.

Penelitian [13] membahas tentang Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid PLTD-PLTS di Pulau Tunda Serang Banten menyimpulkan Kontribusi PLTS terhadap sistem PLTH sebesar 18,7 % atau 38.793 kWh/tahun, sedangkan PLTD 81,3 % atau 168.168 kWh/tahun Konfigurasi ini memiliki nilai NPC \$ 2.180.000 dan biaya listrik \$ 0.919 per kWh. Kelebihan energinya selama setahun sebesar 42.711 kWh/tahun. Dampak lingkungan yang dapat dikurangi dengan menerapkan sistem PLTD-PLTS, emisi CO₂ yang dihasilkan pada sistem ini adalah sebesar 147 ton per tahun, terjadi penurunan jumlah emisi CO₂ sebesar 27 ton pertahun atau 15,5 % dari kondisi awal jumlah emisi CO₂ sebesar 174 ton pertahun. Penelitian [14] tentang desain PLTS Kampus Universitas Udayana Gedung Rektorat menyimpulkan Hasil analisis ekonomi didapatkan dari hasil simulator helioscope dan simulator HOMER. PLTS dapat menjual energi listrik ke PLN sebesar Rp. 883/kWh mendapatkan pendapatan selama 25 tahun sebesar Rp. 734.740.092 maka dari perhitungan mendapatkan hasil nilai NPV > 0, B-CR > 0, dan nilai DPP lebih kecil dari target umur proyek maka desain

PLTS Kampus Universitas Udayana, Gedung Rektorat layak diwujudkan karena mampu mengembalikan biaya investasi awal dan mendapatkan keuntungan sebesar Rp. 4.040.492.

Penelitian [15] tentang economic impacts of installing solar power plants in northern Chile menyimpulkan bahwa NPV beberapa PLTS di Chili hampir mendekati nol, jika harga karbon terikat menjadi 51,53 USD / Ton CO₂, PLTS Calama secara ekonomi menampilkan bunga 8%. Dengan insentif ekonomi sebesar 97,68 juta USD untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga surya 200 MW dengan biaya modal impas dan biaya energi untuk PLTS di Calama 2,33 juta USD / MW dan 9,3 sen /kWhakan menghasilkan NPV positif.

Penelitian [16] tentang Economic justification of concentrating solar power in high renewable energy penetrated power systems menyimpulkan manfaat integrasi *concentrating solar power* (CSP) untuk penyediaan energi terbarukan dan fleksibilitas operasional dari solar power. CSP mampu menghitung biaya kapasitas investasi dari *renewable energy sources* (RSE), CSP juga diharapkan mampu memainkan peranan penting untuk mendukung kemajuan dan memperhitungkan biaya minimum dari energi terbarukan. Dari hasil analisis CSP perlu direncanakan dan dikembangkan.

Penelitian [17] tentang Technical and economic assessment of the integrated solar combined cycle power plants in Iran menyimpulkan konfigurasi optimal untuk pembangkit listrik yang diteliti berkaitan dengan parameter tekno ekonomi yang ditentukan. pembangkit listrik solar tower berpendingin kering dengan kapasitas 100 MWe, sistem penyimpanan 14 jam, dan kelipatan matahari 3.0 adalah sistem konfigurasi yang paling efisien dengan mempelajari kondisi iklim. Untuk pembangkit listrik tenaga surya yang terkonsentrasi ini, biaya listrik yang diratakan dan efisiensi tenaga surya ke listrik masing-masing adalah 11,3 GHS/kWh dan 14,7 %. Selanjutnya, waktu pengembalian energi sekitar 15 bulan, Pengurangan emisi CO₂ tahunan adalah 399 kiloton, dan penghematan bahan bakar fosil tahunan adalah 190 juta meter kubik gas alam.

Penelitian ini bertujuan untuk mereview Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga Surya secara ekonomi. berdasarkan studi literatur di indonesia.

1. Investasi dan anggaran

Investasi bisa dilakukan jika memiliki profit

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{C_n}{(1+r)^n} = 0 \quad (1)$$

C_n adalah Cash flow, n adalah Waktu dalam tahun, r adalah Tingkat bunga Sedangkan penerimaan atau penelohan usulan investasi ini adalah dengan membandingkan IRR dengan tingkat bunga yang

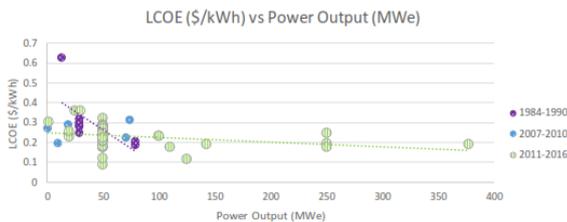
disarankan (*required rate of return*). Apabila IRR lebih besar dari pada tingkat bunga yang disyaratkan maka proyek tersebut dapat diterima. Untuk menghitung IRR harus dicari discount rate yang menghasilkan NPV positif, dan NPV negative dengan rumus interpolasi [18].

$$IRR = i_1 \frac{NPV_1}{(NPV_1 + NPV_2)} i_2 - i_1 \quad (2)$$

IRR adalah Internal rate of return, i_1 adalah Tingkat diskonto yang menghasilkan NPV+, i_2 adalah tingkat diskonto yang menghasilkan NPV-, NPV1 adalah Net present bernilai positif, NPV2 adalah Net present bernilai negatif

2. Biaya Energi yang Diratakan versus Output Daya

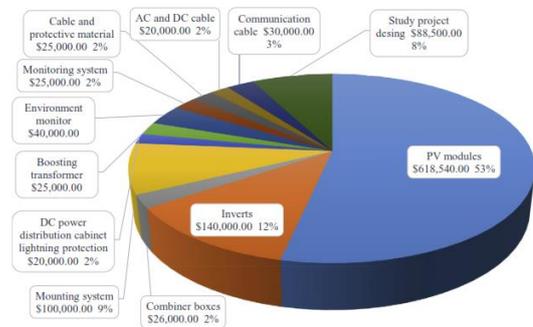
Hasil berdasarkan keluaran daya tidak seklusif yang diharapkan, meskipun *Levelized Cost of Energy* (LCOE) cenderung demikian menurun dengan bertambahnya ukuran. Penulis sadar bahwa pengembang dapat dibatasi pada keluaran daya tertentu berdasarkan persyaratan tender atau pembiayaan dalam kasus tertentu, output daya yang berbeda dapat menyebabkan LCOE proyek yang lebih rendah [19].



Gambar 1. CSP. LCOE versus Power Output [19]

3. Data ekonomi tentang pembangkit listrik tenaga surya berdasarkan modul PV

Salah satu keuntungan terbesar dari pembangkit listrik tenaga surya adalah yang paling banyak komponen sistem tidak memerlukan operasi pemeliharaan yang mahal, sehingga situasi ini mengurangi biaya perawatan dan perbaikan. Layanan penggantian, perbaikan dan pemeliharaan dilakukan tanpa biaya jika terjadi situasi buruk dengan garansi jangka panjang misalnya, masa garansi Modul PV adalah 10 tahun untuk material & pengerjaan dan 25 tahun untuk garansi output daya linier untuk masa garansi sebuah inverter adalah 5 tahun [20].



Gambar 2. The cost of 1 MW PV power plant [21]

4. Parameter teknik

Parameter teknis pembangkit listrik *Parabolic Trough* (PT) dipisahkan menjadi lima bagian, termasuk bidang surya, kolektor, penerima, siklus daya, dan penyimpanan termal. Parameter tersebut untuk pembangkit listrik *Solar Tower* (ST) dibagi menjadi bagian-bagian berikut: desain sistem, bidang heliostat, menara dan penerima, siklus daya, penyimpanan termal, dan kontrol sistem [22].

Parameter ekonomi untuk simulasi pembangkit listrik PT dan ST seperti terlihat pada tabel 1 dan 2 adalah biaya sistem pembangkit listrik yang telah dipertimbangkan berdasarkan nilai rujukan yang direkomendasikan untuk PT dan pembangkit listrik ST.

Tabel 1. Economic input parameters for PT and ST power plants in the SAM software [23,24]

Page	Parameter	Description
PT system costs	Solar field	150 \$/m ²
	HTF system	60 \$/m ²
	Storage	65 \$/kWh
	Power plant	1150 \$/kWe
	Balance of plant	120 \$/kWe
ST system costs	Heliostat field	145 \$/m ²
	Tower cost fixed	3 M\$
	Receiver reference cost	103 M\$
	Thermal energy storage	24 \$/kWh
	Power cycle	1100 \$/kWe
	Balance of plant	340 \$/kWe
Depreciation	Federal	Straight line (20-yr)
	State	No depreciation

Tabel 2. Economic input parameters for PT and ST power plants in the SAM software [23,24]

Page	Parameter	Description
Financial parameters	Minimum required IRR	17%
	IRR target year	20
	PPA price escalation	5%
	Analysis period	30 years
	Inflation rate	9.7%
	Nominal discount rate	18%
	Federal income tax	25%
	State income tax	0%
	Sales tax	9%

Insurance rate	0.5%
DSCR	1.4
Annual interest rate	18%

5. Solar radiation resource assessment

Sumber pembebanan adalah penggunaan yang penting dan utama dalam mengevaluasi sebuah proyek energi surya. Intensitas dari peristiwa radiasi matahari dari permukaan bumi sangat bervariasi karena pergerakan matahari sepanjang hari dan diatur melalui orientasi permukaan bumi terhadap matahari yang ditentukan oleh berbagai sudut permukaan bumi dan matahari [25].

6. Deskripsi teknologi tenaga surya

Energi matahari dapat diubah langsung menjadi listrik menggunakan PV. Sel PV umumnya menggunakan bahan semikonduktor untuk dimanfaatkan menjadi efek *photoelectric*. Penggunaan material dan perangkat yang lebih baik dapat meningkatkan efisiensi sel surya. Pembangkit listrik PV mudah untuk disesuaikan dengan kebutuhan misalnya, pembangkit tenaga pompa air yang menggunakan modul tunggal dengan kapasitas 200 W, kemudian modul solar cell juga dapat digabungkan menjadi array yang lebih besar contoh pembangkit listrik dengan kapasitas hingga 250 MW yang telah tersambung pada jaringan listrik, Selain itu, modul PV dapat ditempatkan di atap atau diintegrasikan ke dalam struktur bangunan yang memanfaatkan potensi sumber daya yang tidak bisa digunakan oleh teknologi energi lainnya [26].

II. MATERIAL DAN METODE

Material dalam penelitian ini adalah beberapa artikel yang telah diterbitkan kemudian dilakukan review terkait nilai kelayakan secara ekonomi kemudian dilakukan analisis untuk mendapatkan simpulan berupa data-data yang telah di bahas di artikel tersebut.

1. Komponen-komponen PLTS

a. Modul cell surya

Sel surya merupakan komponen yang berfungsi merubah energi sinar matahari menjadi energi listrik. Panel ini tersusun dari beberapa sel yang dihubungkan secara seri maupun paralel. Sebuah sel surya umumnya terdiri dari 32-40 sel surya, tergantung ukuran panel. Gabungan dari panel-panel membentuk suatu "Array" [27]

b. Charge Controller

Charge controller Adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengatur pengisian arus searah dari Sel Surya ke baterai dan mengatur penyaluran arus dari baterai ke peralatan listrik (beban). *Charge controller* mempunyai kemampuan untuk mendeteksi kapasitas baterai. Bila baterai sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari Sel Surya berhenti. Cara deteksi adalah memulai monitor level tegangan baterai. *Charge controller* akan mengisi baterai

sampai level tegangan tertentu, kemudian apabila level tegangan telah mencapai level terendah, maka baterai akan diisi kembali [27].

c. Baterai

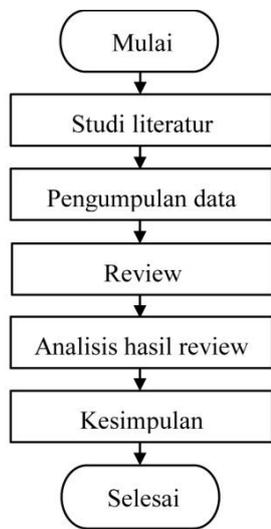
Baterai adalah komponen yang berfungsi menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh Pembangkit Gabungan, kemudian dipergunakan pada malam hari dan pada saat cuaca mendung. Baterai dipergunakan pada pembangkit mengalami proses siklus mengisi (*charging*) dan mengosongkan (*Discharging*), tergantung pada ada tidaknya sinar matahari. Selama ada sinar matahari, listrik yang dihasilkan tersebut melebihi kebutuhan bebannya, maka energi panel surya akan menghasilkan energi listrik [27].

d. Inverter

Inverter adalah perangkat elektrik yang digunakan untuk mengubah arus listrik searah (DC) menjadi arus listrik bolak balik (AC). Inverter mengkonversi DC dari perangkat seperti baterai, panel sel surya menjadi AC. Penggunaan inverter dari dalam Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) adalah untuk perangkat yang menggunakan AC (*Alternating Current*) [27]

Metode dalam penelitian ini menggunakan metode pendekatan studi literatur dengan melakukan pengumpulan data pustaka, mereview kemudian melakukan analisis berdasarkan data-data yang dihasilkan dari artikel masa lalu. Alur penelitian dapat dilihat pada gambar 1. Berikut.

Tahapan penelitian diawali dengan studi literatur ini bertujuan untuk mencari referensi yang sesuai dan memiliki keterkaitan dengan penelitian. Selanjutnya dilakukan pengumpulan data dengan mencatat data-data yang dihasilkan dalam penelitian terdahulu, kemudian dilakukan review untuk mengetahui keterkaitan dengan tujuan penelitian, selanjutnya dilakukan analisis hasil review, kegiatan ini meliputi pembuatan grafik dan tabel terkait data-data hasil review untuk selanjutnya disimpulkan.

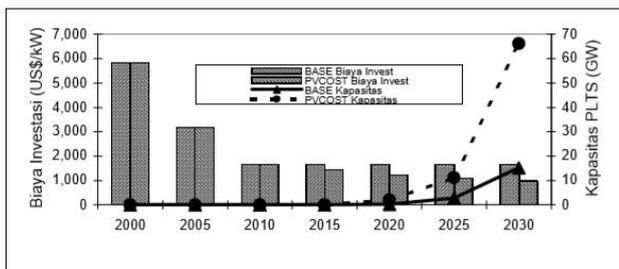


Gambar 1. Diagram alir penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis kelayakan PLTS secara ekonomi

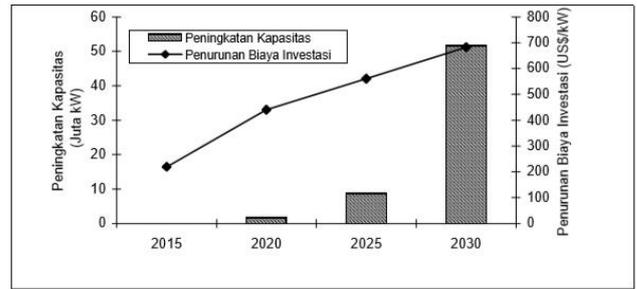
Analisis kelayakan PLTS secara ekonomi dapat dinyatakan layak dari beberapa sumber, dimana nilai kelayakan dihitung dengan metode NPV dan IRR. Review artikel dari penelitian ini adalah membahas tentang kelayakan pembangkit listrik tenaga secara ekonomi pada penerangan diambil dari 9 artikel review. Pertumbuhan yang sangat besar tersebut dapat dikatakan tidak rasional, karena pada kenyataannya biaya investasi PLTS di Indonesia tidak akan menurun secara drastis dari 5.830 US\$/kW menjadi 1.650 US\$/kW dan akhirnya menjadi 968 US\$/kW. Hal tersebut disebabkan piranti utama PLTS yaitu modul fotovoltaik masih diimpor dari negara lain dan efisiensi dari modul fotovoltaik sangat rendah yaitu sebesar 16% yang menyebabkan harga PLTS per kW masih sangat tinggi. Gambar 3. menunjukkan perkiraan biaya investasi dan kapasitas terpasang PLTS di Indonesia dari tahun 2000 sampai dengan tahun 2030 pada kasus dasar dan PVCOST [28].



Gambar 3. Perbandingan biaya investasi dan kapasitas PLTS (Kasus Dasar dan PVCOST)

Penurunan biaya investasi pada PVCOST terhadap kasus dasar sebesar 220 US \$/kW pada tahun 2015, 440 US \$/kW pada tahun 2020, 561 US \$/kW pada tahun 2025, dan 682 US\$/kW pada tahun 2030 menyebabkan terjadinya peningkatan kapasitas

PLTS pada PVCOST yang ditunjukkan pada Gambar 4 [28].



Gambar 4. Perbandingan biaya investasi dan kapasitas PLTS (Kasus Dasar dan PVCOST)

Data hasil pengukuran intensitas radiasi tenaga surya di seluruh Indonesia yang sebagian besar dilakukan oleh BPPT dan sisanya oleh BMG dari tahun 1965 hingga 1995 ditunjukkan pada Tabel 3 [28].

Tabel 3. Intensitas Radiasi Matahari di Indonesia

Propinsi	Lokasi	Tahun Pengukuran	Posisi Geografis	Intensitas Radiasi (Wh/m ²)
NAD	Pidie	1980	4°15' LS; 96°52' BT	4.097
SumSel	Ogan Komering Ulu	1979-1981	3°10' LS; 104°42' BT	4.951
Lampung	Kab. Lampung Selatan	1972-1979	4°28' LS; 105°48' BT	5.234
DKI Jakarta	Jakarta Utara	1965-1981	6°11' LS; 106°05' BT	4.187
Banten	Tangerang	1980	6°07' LS; 106°30' BT	4.324
	Lebak	1991 - 1995	6°11' LS; 106°30' BT	4.446
Jawa Barat	Bogor	1980	6°11' LS; 106°39' BT	2.558
	Bandung	1980	6°56' LS; 107°38' BT	4.149
Jawa Tengah	Semarang	1979-1981	6°59' LS; 110°23' BT	5.488
DI Yogyakarta	Yogyakarta	1980	7°37' LS; 110°01' BT	4.500
Jawa Timur	Pacitan	1980	7°18' LS; 112°42' BT	4.300
KalBar	Pontianak	1991-1993	4°38' LS; 9°11' BT	4.552
KalTim	Kabupaten Berau	1991-1995	0°32' LU; 117°52' BT	4.172
	Kota Baru	1979 - 1991	3°27' LS; 114°50' BT	4.798
KalSel	Kota Baru	1991 - 1995	3°25' LS; 114°41' BT	4.573
Gorontalo	Gorontalo	1991-1995	1°32' LU; 124°55' BT	4.911
SulTeng	Donggala	1991-1994	0°57' LS; 120°0' BT	5.512
Papua	Jayapura	1992-1994	8°37' LS; 122°12' BT	5.720
Bali	Denpasar	1977-1979	8°40' LS; 115°13' BT	5.283
NTB	Kabupaten Sumbawa	1991-1995	9°37' LS; 120°16' BT	5.747
NTT	Ngada	1975-1978	10°9' LS; 123°30' BT	5.117

Sumber: BPPT, BMG

3.2 Analisis perkiraan nilai NPV PLTS

Tabel 4 untuk mengetahui kelayakan pembangkit listrik tenaga surya dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 4. NPV dari PLTS berdasarkan referensi

No	Author	Institusi	NPV	Ref
1.	Eka Razak Kurniawan	Universitas Pertahanan	Rp. 236.430.264,4 25	[6]
2.	NovixJefri Al Fama	Universitas Indonesia	Rp. 45.035.236,93 8	[4]
3.	Shemina	Politeknik Negeri Ujung Pandang	Rp. 1.112.194.399	[7]
4.	Bambang Winardi	Universitas Diponegoro Semarang	Rp. 266.351.000	- [8]
5.	OtongJaelani	Sekolah Tinggi Ilmu Teknik Bina Putra	Rp. 314.918.173,1 9	[13]
6.	Jufrizel dan	Universitas	Rp.	[29]

Muhammad Irfan	Islam Negeri Sultan Syarif Kasim, Riau	85.679.524.536	
7. Suhendar dkk	Universitas Sultan Ageng Tirtayasa	Rp. 121.964.92.000	[30]
8. Fendy Eventius Mugni dkk	Universitas Kristen Indonesia	Rp. 3.062.770.639	[31]
9. Subekti Yuliananda	Universitas 17 Agustus Surabaya	Rp. 4.631.532	[32]
10 I.B.K. Sugirianta dkk	Universitas Udayana	Rp. 1.400.821.978	[33]
11 Fian Hidayat dkk	Universitas Diponegoro	Rp. 1.586.269.500	[34]
12 S.G., Ramadhan dan Ch. Rangkuti	Universitas Udayana	Rp 323,771,631.40	[35]

Masa pengembalian modal investasi sesuai dengan umur proyek PLTS, agar sistem PLTS dapat bertahan lama perlu dilakukan pengelolaan yang baik dan menumbuhkan rasa memiliki oleh masyarakat pemakai PLTS tersebut, sehingga umur komponen sesuai dengan perkiraan, peralatan seperti baterai, inverter, modul surya dan solar charge control perlu diperhatikan istem perawatan yang baik. Maka perlu adanya estimasi life berdasarkan fungsi dari PLTS terseut. Untuk mengetahui lifetime dari pembangkit listrik tenaga surya dapat dilihat pada tabel 2 berikut.

Tabel 5. Umur proyek PLTS berdasarkan referensi

No	Author	Institusi	Rp / kWh	Ref
1.	Rishal Asri	Institut Teknologi Sumatera	25 tahun	[5]
2.	NovixJefri Al Fama	Universitas Indonesia	25 tahun	[4]
3.	Bambang Winardi	Universitas Diponegoro Semarang	29 tahun	[8]
4.	OtongJaelani	Sekolah Tinggi Ilmu Teknik Bina Putra	20 tahun	[13]
5.	Subekti Yuliananda	Universitas 17 Agustus Surabaya	25 tahun	[9]
6.	Fian Hidayat	Universitas Diponegoro	25 tahun	[12]
7.	Adhie, Wibowo	Universitas Widya Dharma.	25 tahun	[36]
8.	Abdul KodirAl	Universitas Krisnadwipay	20 tahun	[37]

IV. KESIMPULAN

Tahapan review telah disajikan pada pembahasan, Komponen sistem PLTS terdiri dari panel surya, solar charge controller, baterai, inverter dan keandalan aplikasi yang berkaitan dengan sistem PLTS. Mayoritas studi yang dilaporkan dalam literatur ini didasarkan pada Nilai NPV dan lifetime dari sistem PLTS di Indonesia. Beberapa studi berpendapat bahwa nilai NPV dari PLTS menampilkan kelayakan untuk di bangun, sementara beberapa studi berpendapat lifetime dari Pembangkit Listrik Tenaga Surya memiliki lifetime rata-rata diatas 20 tahun, dengan masa pengembalian modal membutuhkan waktu selama 10 tahun, sehingga arus kas kumulatif sudah melebihi nilai investasi awal dengan umur PLTS rata-rata 20 tahun, yang berarti investasi PLTS layak untuk diterapkan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada pihak-pihak tim manajemen jurnal APTEK yang telah memberi kesempatan kepada kami untuk menerbitkan artikel kami di APTEK

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Wagh and P. V Walke, "Review on Wind-Solar Hybrid Power System," no. 2, 2017.
- [2] M. Irfan, "Perencanaan Teknis dan Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem On-Grid," *Semin. Nas. Teknol. Informasi, Komun. dan Ind. 9 Fak. Sains dan Teknol. UIN Sultan Syarif Kasim Riau Pekanbaru, 18-19 Mei 2017 ISSN*, vol. 77, no. Seminar Nasional Teknologi Informasi, Komunikasi dan Industr, pp. 18–19, 2017.
- [3] N. Jefri *et al.*, "Surya on Grid Pada Sistem Kelistrikan Biak Papua," *Semin. Nas. Teknol. 2018*, pp. 501–510, 2018.
- [4] E. Quaranta and R. Revelli, "Gravity water wheels as a micro hydropower energy source: A review based on historic data, design methods, efficiencies and modern optimizations," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 97, no. November 2017, pp. 414–427, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2018.08.033.
- [5] S. Nafis, M. Aman, and A. Hadiyono, "Analisis Keekonomian Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Sistem Ketenagalistrikan Nias," *Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan*,

- vol. 14, no. 2, pp. 83–94, 2015.
- [6] R. Asri and K. Kanada, “Desain dan Analisa Kelayakan PV-Diesel-Grid Sistem Hibrid di Institut Teknologi Sumatera (ITERA),” vol. 3, no. 2, p. 30, 2018.
- [7] E. R. Kurniawan, I. Supriyadi, and N. A. Sasongko, “Analisis Biaya Manfaat Energi Surya Untuk Mendukung Pasokan Energi Integrated Cold Storage Di SKPT Kota Sabang,” *Ketahanan Energi*, vol. 4, no. 1, pp. 1–25, 2018.
- [8] M. Mulyadi, “Analisis Kelayakan Rekondisi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kodingareng 400 kW,” vol. 1, no. 1, pp. 9–14, 2020.
- [9] B. Winardi, A. Nugroho, and E. Dolphina, “Perencanaan Dan Analisis Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat Untuk Desa Mandiri,” *J. Tekno*, vol. 16, no. 2, pp. 1–11, 2019, doi: 10.33557/jtekn.v16i1.603.
- [10] P. Atap and B. Gedung, “Kajian Aspek,” vol. 06, no. 02, 2013.
- [11] S. P. Febri, Z. Arif, F. Amir, R. Artikel, and K. Kunci, “Kajian Penggunaan Pembangkit Listrik Photovoltaik Atap Sebagai Upaya Implementasi Green Campus Suheri Informasi Artikel,” vol. 3, no. 1, pp. 254–257, 2019.
- [12] F. Hidayat, B. Winardi, and A. Nugroho, “Analisis Ekonomi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro,” *Transient*, vol. 7, no. 4, p. 875, 2019, doi: 10.14710/transient.7.4.875-882.
- [13] P. G. Chamdareno and H. Hilal, “Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid PLTD-PLTS di Pulau Tunda Serang Banten,” *Resistor*, vol. 1, no. 1, pp. 37–44, 2000.
- [14] P. G. Chamdareno and H. Hilal, “Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid PLTD-PLTS di Pulau Tunda Serang Banten,” *Resistor*, vol. 1, no. 1, pp. 37–44, 2000.
- [15] F. Del Sol and E. Sauma, “Economic impacts of installing solar power plants in northern Chile,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 19, pp. 489–498, 2013, doi: 10.1016/j.rser.2012.11.038.
- [16] B. M. Pangaribuan, I. Ayu, D. Giriantari, and I. W. Sukerayasa, “Desain Plts Atap Kampus Universitas Udayana : Gedung Rektorat,” vol. 7, no. 2, 2020.
- [17] E. Du, N. Zhang, B. M. Hodge, C. Kang, B. Kroposki, and Q. Xia, “Economic justification of concentrating solar power in high renewable energy penetrated power systems,” *Appl. Energy*, vol. 222, no. March, pp. 649–661, 2018, doi: 10.1016/j.apenergy.2018.03.161.
- [18] O. Jaelani and H. Suropto, “Analisis Performa dan Nilai Ekonomi Sistem Solar Cell Untuk Pengoperasian Pompa Air dengan Metode Eksperimental,” *J. Rekayasa Mesin*, vol. 15, no. 1, p. 42, 2020, doi: 10.32497/jrm.v15i1.1742.
- [19] R. Musi *et al.*, “Techno-economic analysis of concentrated solar power plants in terms of levelized cost of electricity,” *AIP Conf. Proc.*, vol. 1850, no. June, 2017, doi: 10.1063/1.4984552.
- [20] M. Gürtürk, “Economic feasibility of solar power plants based on PV module with levelized cost analysis,” *Energy*, vol. 171, pp. 866–878, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.01.090.
- [21] Khetarpal D. “World energy resources”: solar 2016. World Energy Council; 2016.p. 78.
- [22] K. Hirbodi, M. Enjavi-Arsanjani, and M. Yaghoubi, “Techno-economic assessment and environmental impact of concentrating solar power plants in Iran,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 120, no. March 2019, p. 109642, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2019.109642.
- [23] Turchi CS, Heath GA. “Molten salt power tower cost model for the system advisor model (SAM)”. Colorado: National Renewable Energy Laboratory (NREL); 2013.
- [24] Trading Economics (TE), Iran inflation rate, sales tax rate and interest rate. <http://www.tradingeconomics.com/>. [Diakses: 12 November 2020]
- [25] I. Purohit and P. Purohit, “Techno-economic evaluation of concentrating solar power generation in India,” *Energy Policy*, vol. 38, no. 6, pp. 3015–3029, 2010, doi: 10.1016/j.enpol.2010.01.041.
- [26] R. C. Pietzcker, D. Stetter, S. Manger, and G. Luderer, “Using the sun to decarbonize the power sector: The economic potential of photovoltaics and concentrating solar power,” *Appl. Energy*, vol. 135, pp. 704–720, 2014, doi: 10.1016/j.apenergy.2014.08.011.
- [27] Hasnawiyah Hasan. 2012. “Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Pulau Saugi”. Makasar: Universitas Hasanudin.
- [28] S. P. Listrik *et al.*, “Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Indonesia,” pp. 43–52.
- [29] M. Irfan, “Perencanaan Teknis dan Ekonomis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem On-Grid,” *Semin. Nas. Teknol. Informasi, Komun. dan Ind. 9 Fak. Sains dan Teknol. UIN Sultan*

Syarif Kasim Riau Pekanbaru, 18-19 Mei 2017
ISSN, vol. 77, no. Seminar Nasional Teknologi
Informasi, Komunikasi dan Industr, pp. 18–19,
2017.

- [30] S. Suhendar, B. Raharjo, A. Alimuddin, and H. Sutjipto, “Studi Potensi Lahan Dan Area Perumahan Untuk Implementasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Di Wilayah Serang Dan Cilegon Banten,” *J. Ecotipe (Electronic, Control, Telecommun. Information, Power Eng.*, vol. 3, no. 1, pp. 14–24, 2016, doi: 10.33019/ecotipe.v3i1.26.
- [31] F. E. Mugni and B. Widodo, “Analisis Perencanaan dan Kajian Ekonomi dalam Penggunaan PV Menuju Low Energy Building Pada Hote Inaya Putri Bali,” vol. 3, no. September, 2020.
- [32] P. Atap and B. Gedung, “Kajian Aspek Teknis Dan Aspek Biaya Investasi Proyek Pembangkit Listrik Tenaga Surya Pada Atap Beton Gedung,” vol. 06, no. 02, 2013.
- [33] I. B. Ketut Sugirianta, I. Giriantari, and I. N. Satya Kumara, “Analisa Keekonomian Tarif Penjualan Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1 MWp Bangli Dengan Metode Life Cycle Cost,” *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 15, no. 2, pp. 121–126, 2016, doi: 10.24843/mite.1502.18.
- [34] F. Hidayat, B. Winardi, and A. Nugroho, “Analisis Ekonomi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Plts) Di Departemen Teknik Elektro Universitas Diponegoro,” *Transient*, vol. 7, no. 4, p. 875, 2019, doi: 10.14710/transient.7.4.875-882.
- [35] C. R. S.G., Ramadhan, “Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti,” *Univ. Trisakti*, pp. 1–11, 2017.
- [36] W. Adhie, “Analisa Pembangkit Listrik Tenaga Surya 40wp Dengan Daya Penyimpanan 120 Watt Untuk Kebutuhan Penerangan,” *Univ. Widya Dharma.*, 2017.
- [37] A. K. Al Bahar and A. T. Maulana, “Perencanaan dan Simulasi Sistem PLTS Off-Grid Untuk Penerangan Gedung Fakultas Teknik UNKRIS,” *J. Ilm. Elektrokrisna*, vol. 6, no. 3, pp. 97–107, 2018.