



## Pemanfaatan energi terbarukan: Satu kajian pemanfaatan energi surya untuk pembangkit listrik di Universitas Samudra

Munira Amudy\*, Adi Musfadry, Hamdani

<sup>1</sup>Bagian Perencanaan, Universitas Samudra

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Samudra

Langsa, 24416, Indonesia

\*Email: [munira@unsam.ac.id](mailto:munira@unsam.ac.id)

### Abstrak

Ketersediaan energi surya lebih tinggi dari konsumsi energi global, keterjangkauannya untuk penggunaannya relatif sederhana, dan ramah lingkungan. Institusi pendidikan tinggi seringkali memiliki banyak gedung dengan atap yang besar serta hamparan lahan tak terpakai yang cocok untuk instalasi tenaga surya. Tujuan dari studi ini adalah untuk melakukan analisis kelayakan terkait pemasangan pembangkit listrik tenaga surya di kampus Universitas Samudra. Untuk menghitung besarnya listrik yang dapat dihasilkan dari suatu instalasi tenaga surya diperlukan penggunaan data radiasi matahari. Data radiasi surya tersebut, menggunakan *software System Advisor Manager (SAM)* dilakukan perhitungan angka produksi energi bulanan dan tahunan dari sistem pembangkit listrik tenaga surya. Perhitungan dilakukan untuk produksi energi listrik jangka panjang selama 20 tahun operasi, dengan asumsi penurunan kinerja sistem 1% dalam setiap tahun. Pada analisis ini dilakukan perhitungan pembangkit listrik tenaga surya *fotovoltaik*, dan pembangkit listrik dengan kolektor terpusat. Dari hasil analisis diperoleh untuk penyediaan listrik berdaya 10 MW, penggunaan panel PV lebih unggul dibandingkan menggunakan kolektor parabola. Biaya produksi listrik panel PV sebesar 6.60 ¢/kWh, sedangkan kolektor parabola membutuhkan biaya 26.42 ¢/kWh. Dan kebutuhan ruangan untuk pemasangan panel PV lebih kecil dibandingkan dengan penggunaan kolektor parabola.

**Kata kunci** : pemanfaatan, energi surya, energi listrik, universitas, lahan

*Utilization of renewable energy: A study of the use of solar energy for electricity generation at Universitas Samudra*

### Abstrack

*The availability of solar energy is higher than global energy consumption, affordability for relatively simple use, and environmentally friendly. Higher education institutions often have many buildings with large roofs and stretches of unused land suitable for solar power installations. The purpose of this study is to conduct a feasibility analysis related to the installation of a solar power plant on the University of Samudra campus. To calculate the amount of electricity that can be generated from a solar power installation, it is necessary to use solar radiation data. The solar radiation data, using the System Advisor Manager (SAM) software, calculates the monthly and annual energy production figures from the solar power generation system. Calculations are made for long-term production of electrical energy for 20 years of operation, assuming a 1% decrease in system performance every year. In this analysis, the calculation of photovoltaic solar power plants and power plants with centralized collectors is carried out. From the analysis results obtained for the provision of 10 MW of power, the use of PV panels is more profitable than using a parabolic collector. The production cost of PV panel electricity is 6.60 ¢ / kWh, while the parabolic collector requires 26.42 ¢ / kWh, and the space required for PV panel installation is smaller than the use of a parabolic collector.*

**Keywords**: utilization, solar energy, electrical energy, university, land

### 1. Pendahuluan

Pembangkit listrik tenaga surya adalah energi listrik yang dihasilkan dari pemanfaatan energi matahari. Pembangkit listrik tenaga surya tidak menghasilkan gas rumah kaca dan tidak melepaskan karbon ke udara. Namun, ada beberapa gas rumah kaca yang dikeluarkan selama konstruksi dan transportasi peralatan yang digunakan untuk membangun pembangkit listrik tenaga surya. Pada kisaran per kilowatt jam, pelepasan gas rumah kaca

ini sangat kecil dibandingkan dengan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan untuk memproduksi 1 kWh listrik dari sumber energi tak terbarukan seperti batu bara atau gas alam[1].

Daya tarik penggunaan energi surya terletak pada kenyataan bahwa energi surya yang tersedia lebih tinggi beberapa kali dari konsumsi energi global, untuk penggunaan keterjangkauannya relatif sederhana, dan ramah lingkungan. Menurut Laporan Kajian Energi Pembangunan Dunia PBB tahun 2000,

potensi tahunan energi suryaberada dalam kisaran  $1.575^{18}$ – $49.837^{18}$  joule. Ini berkali-kali lebih besar dari total energi yang dikonsumsi di seluruh dunia pada awal abad ke-21 yang sebesar  $580,5^{18}$  joule [1].

Beberapa peneliti percaya bahwa energi surya memiliki potensi yang lebih besar. V. Smil [2] menyatakan bahwa potensi energi surya lebih dari  $13.368^{18}$  joule per jam. Pada tahun 2011, Badan Energi Internasional (IEA) mencatat bahwa pengembangan teknologi pemanfaatan energi surya yang efisien terus dikembangkan untuk tercapainya manfaat jangka panjang. Hal ini, diharapkan akan meningkatnya keamanan energi suatu negara, dan memungkinkan untuk bergantung pada energi yang tidak habis-habisnya.

Laporan review pemanfaatan energi surya untuk produksi energi termal menyatakan bahwa dengan metode konstruksi gedung bangunan saat ini, ada peluang penggunaan panel surya untuk menyediakan kebutuhan energi gedung. Energi surya akan menjadi sumber energi utama gedung di masa depan. Peneliti menekankan pentingnya akuntansi penggunaan sel surya dalam desain dan implementasi konstruksi gedung [3]–[9].

Banyak literatur yang membahas analisis teknis dan ekonomi pemanfaatan sumber energi terbarukan untuk pembangkit energi listrik [10]–[13]. Biasanya, potensi sumber daya untuk setiap sumber energi terbarukan lebih besar daripada potensi teknis, ekonomi, dan pasar. Akan tetapi tidaklah cukup melakukan penilaian hanya dengan membandingkan biaya investasi dengan pendapatan yang akan diperoleh.

Menurut *International Renewable Energy Agency* (IRENA), biaya normalisasi energi yang dihasilkan oleh SPS (*Solar Power Stasiun*) di berbagai negara berbeda dan rata-rata \$ 0,40 per 1 kWh menggunakan sistem PV (Fotovoltaik) [10]. Ini masih jauh lebih mahal daripada yang diproduksi di pembangkit listrik menggunakan bahan bakar fosil yang rata-rata \$ 0,045 per 1 kWh.

Oleh karena itu pembangunan SPS yang besar kurang diminati karena membutuhkan investasi yang besar. Keuntungan utama energi surya dan jenis energi terbarukan lainnya adalah ketersediaannya yang tidak terbatas. Di sebagian besar rumah tangga di desa dan kota kecil, di negara yang terletak di daerah cerah, bahkan ratusan meter persegi tanah telah digunakan untuk memasang panel surya. Bahkan kemungkinan mengadaptasi instalasi sistem PV dan penerapannya di sektor pertanian telah dipelajari dan di publikasikan dalam banyak literatur [14]–[18].

Studi menunjukkan bahwa penggunaan pembangkit listrik tenaga surya tidak hanya kurang berbahaya bagi lingkungan dibandingkan dengan jenis sumber energi lain tetapi bahkan dapat memiliki efek positif dengan mengganti jenis sumber energi lainnya. Dampak lingkungan dari PV (photovoltaic) terhadap lingkungan meliputi dampak sistem ini terhadap keanekaragaman hayati, penggunaan air,

kesehatan manusia, kualitas tanah dan udara, koridor transportasi, penggunaan lahan [12].

Institusi pendidikan tinggi seringkali memiliki banyak gedung dengan atap yang besar serta hamparan lahan tak terpakai yang cocok untuk instalasi tenaga surya. Beberapa institusi pendidikan tinggi sudah mulai menghasilkan listrik tenaga surya di kampus. Misalnya, Universitas Monash di Victoria Australia, telah berhasil memasang 416 panel PV yang diharapkan dapat menghasilkan 100.000 kWh listrik per tahun [19]. Namun, susunan ini akan segera dikalahkan oleh susunan fotovoltaik 1,2 MW yang direncanakan oleh Universitas Queensland yang akan menghasilkan listrik 1750 MWh per tahun. Universitas Harvard di Amerika Serikat, juga telah menyelesaikan pemasangan pembangkit listrik tenaga surya daya 500 kW yang akan menghasilkan lebih dari 630.000 kWh per tahun [20].

Selain itu, penggunaan listrik tenaga surya yang dihasilkan di kampus berfungsi sebagai simbol komitmen universitas terhadap lingkungan. Simbol ini mendorong mahasiswa, fakultas, dan staf untuk mengambil tindakan pro-lingkungan dalam kehidupan sehari-hari. Selain itu, penggunaan energi surya yang diproduksi di kampus memberikan dorongan hubungan masyarakat kepada universitas yang dibuktikan dengan liputan media tentang institusi yang memasang panel surya. Seringkali ada liputan media yang luas di seluruh tahap desain, instalasi, dan commissioning dari setiap proyek energi alternatif. Hal ini selanjutnya membantu universitas menjadi institusi yang lebih dikenal dan dihormati secara nasional dan internasional.

Akhirnya, instalasi tenaga surya di kampus memberikan kesempatan belajar-mengajar yang berharga. Universitas dengan teknologi surya dapat memberikan pendidikan langsung kepada mahasiswa tentang energi matahari. Selain itu, kurikulum dan kegiatan pelatihan dapat dirancang untuk memanfaatkan kesempatan yang diberikan dengan memiliki akses langsung ke instalasi surya yang tersedia.

Tujuan dari studi ini adalah untuk meneliti dan melaporkan kelayakan dan manfaat terkait pemasangan kapasitas pembangkit listrik tenaga surya di kampus Universitas Samudra. Secara khusus, studi ini dimaksudkan untuk mengetahui biaya yang terkait dengan proyek tenaga surya dengan skala mulai dari penyediaan 1% hingga 100% dari kebutuhan listrik Universitas.

Selain itu, kajian ini akan menyelidiki opsi tenaga surya mana yang paling praktis untuk Universitas Samudra. Selanjutnya, studi ini akan mengeksplorasi manfaat bagi Universitas Samudra yang terkait dengan pengejaran proyek termasuk manfaat lingkungan, keuangan, pembelajaran, pengajaran, dan publisitas.

## 2. Metode Penelitian

Studi ini dilakukan di kampus Universitas Samudra (UNSAM) yang terletak di Kota Langsa, Provinsi Aceh, Indonesia. Kampus ini memiliki lahan dengan luas 48,9 Ha atau 489.000 meter persegi, dimana 36,6 Ha atau 366.000 meter persegi (74,8%) saat ini merupakan ruang terbuka yang belum dikembangkan. Namun, Universitas memiliki Rencana Induk untuk pengembangan hingga 2045

yang akan mengakibatkan luas ruang terbuka berkurang menjadi sekitar 8,313 Ha atau 83.130 meter persegi (17%). Meskipun ini masih merupakan lahan yang luas, ruang terbuka tersebut tidak selalu berdekatan satu sama lain dan beberapa plot berukuran lebih kecil dari 1 hektar.



Gambar 1. Masterplan pembangunan fisik Universitas Samudra

Kampus terdiri dari bangunan-bangunan besar yang menyatu di tengah dengan bangunan-bangunan yang lebih kecil di pinggiran kampus (Gambar 1). Sebagian besar ruang terbuka terletak di sekeliling kampus. Lahan yang belum dikembangkan direncanakan untuk dikembangkan dalam dua puluh tahun mendatang.

Untuk menghitung besarnya listrik yang dapat dihasilkan dari suatu instalasi tenaga surya diperlukan penggunaan data radiasi matahari. Radiasi suryara-rata adalah jumlah radiasi surya yang mencapai permukaan bumi di suatu area tertentu. Radiasi suryara-rata juga dikenal sebagai radiasi suryatotal dan diukur dalam kWh/m<sup>2</sup>/hari. Dengan mengetahui radiasi suryaharian rata-rata dan peringkat daya puncak instalasi surya, jumlah listrik yang dihasilkan per hari dapat dihitung. Ada dua sumber potensial data radiasi surya harian untuk menginformasikan analisis produksi listrik tenaga surya. Salah satu sumber datanya adalah *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) yang berbasis di Amerika Serikat. NASA memberikan nilai turunan satelit untuk radiasi suryara-rata untuk lintang dan bujur tertentu melalui situs web Meteorologi Permukaan dan Energi Matahari.

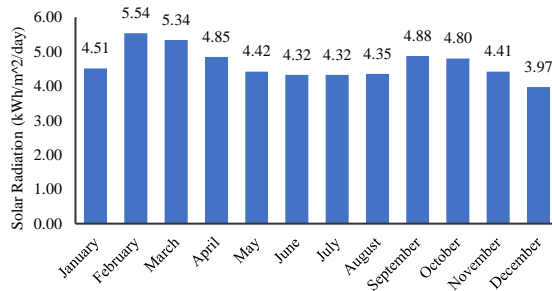
Untuk studi ini, data radiasi surya harian rata-rata NASA untuk permukaan horizontal digunakan untuk rentang waktu Juli 2007 hingga Juni 2017. Data didasarkan pada posisi Universitas Samudra yang terletak lintang utara 4.46 dan garis bujur timur 97,97.

Ada beberapa program komputer yang tersedia untuk umum dengan berbagai tingkat kecanggihan yang dapat digunakan untuk menganalisa kinerja pembangkit listrik tenaga surya. Pada kajian ini digunakan program komputer *Systems Advisor Model* (SAM), memungkinkan pengguna untuk memperhitungkan inefisiensi yang terkait dengan instalasi tenaga surya. Program ini memungkinkan pengguna untuk memilih jenis pembangkit tenaga surya dari berbagai pilihan yang tersedia, menentukan kapasitas daya sistem. Dengan input data radiasi surya yang sesuai, SAM akan menghasilkan perkiraan produksi listrik (kWh) harian, bulanan dan dalam satu tahun. Program ini juga akan memberikan perkiraan kebutuhan lahan untuk pemasangan komponen pembangkit listrik tenaga surya.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Radiasi surya harian rata-rata di lokasi Universitas Samudra, Kota Langsa, terletak Secara geografi Unsam letaknya pada 4.446950° Lintang Utara, dan 97.974833° Bujur Timur, Elevasi berada 13 m diatas permukaan laut. Berdasarkan data NASA, diperoleh radiasi rata-rata setiap bulan dalam satu tahun adalah sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 1. Dari hasil perhitungan menggunakan data rata-rata radiasi matahari harian selama 10 tahun, diperoleh radiasi rata-rata adalah 4,46 kWh/m<sup>2</sup>/hari

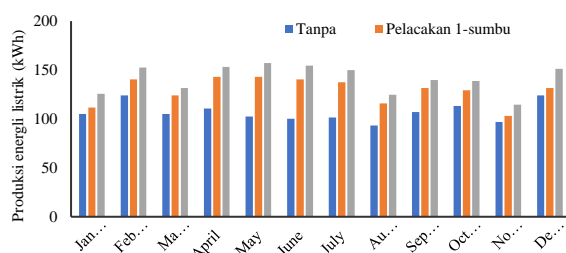
Dari hasil perhitungan menggunakan data rata-rata radiasi matahari harian selama 10 tahun, diperoleh radiasi rata-rata adalah 4,46 kWh/m<sup>2</sup>/hari.



**Gambar 2.** Radiasi suryahari rata-rata setiap bulan dalam setahun.

Berdasarkan data radiasi surya tersebut, dengan menggunakan *software System Advisor Manager (SAM)* dilakukan perhitungan angka produksi energi bulanan dan tahunan dari sistem pembangkit listrik tenaga surya. Perhitungan akan dilakukan untuk produksi energi listrik jangka panjang selama 20 tahun operasi, dengan asumsi penurunan kinerja sistem 1% dalam setiap tahun. Pada analisis ini dilakukan perhitungan pembangkit listrik tenaga surya fotovoltaik, dan pembangkit listrik dengan kolektor terpusat.

Untuk meningkatkan kinerja pembangkit listrik fotovoltaik, susunan panel fotovoltaik dipasang system pelacakan posisi matahari. Pada kajian ini dilakukan analisis untuk susunan fotovoltaik tanpa system pelacakan, susunan fotovoltaik dengan pelacakan 1-sumbu, dan susunan fotovoltaik dengan pelacakan 2-sumbu. Tabel 1, mentabulasikan hasil perhitungan produksi listrik untuk susunan fotovoltaik daya 1 kW. Dengan luas area yang dibutuhkan untuk 1 kW adalah 9 m<sup>2</sup> [21]. Hasil perhitungan produksi energi dari susunan fotovoltaik diperlihatkan dalam Gambar 3.



**Gambar 3.** Produksi listrik tahunan sistem pembangkit listrik tenaga surya menggunakan panel PV

Tabel 1 memberikan hasil perhitungan produksi listrik tahunan yang mampu diproduksi oleh masing-masing susunan fotovoltaik dengan daya berbeda. Untuk susunan fotovoltaik 1 KW tanpa pelacakan posisi suryamenghasilkan listrik tahunan sebesar 1.281,51 kWh pertahun, Susunan fotovoltaik dengan

pelacakan 1-sumbu menghasilkan listrik tahunan sebesar 1.551,79 kWh pertahun, dan susunan fotovoltaik dengan pelacakan 2-sumbu menghasilkan listrik tahunan sebesar 1.6.693,54 kWh pertahun.

**Tabel 1.** Produksi listrik sistem pembangkit listrik tenaga surya menggunakan panel PV

Kapasitas Sistem	Pelacakan	Produksi Listrik Tahunan (kWh)	Produksi listrik 20 tahun (kWh)	Luas area yang dibutuhkan (m <sup>2</sup> )
1 kW	Tanpa	1.284	22.855	8
1 Kw	1 sumbu	1.552	27.626	8
1 kW	2 sumbu	1.694	30.153	8
10 kW	Tanpa	12.840	228.552	80
10 kW	1 sumbu	15.520	276.256	80
10 kW	2 sumbu	16.940	301.532	80
100 kW	Tanpa	128.400	2.285.520	800
100 kW	1 sumbu	155.200	2.762.560	800
100 kW	2 sumbu	169.400	3.015.320	800
10000 kW	Tanpa	12.827.920	255.147.329	80.000
10000 kW	1 sumbu	15.445.970	307.220.343	80.000
10000 kW	2 sumbu	16.935.356	336.844.231	800.000

Analisis juga dilakukan untuk mempertimbangkan kemungkinan penggunaan pembangkit listrik tenaga surya menggunakan kolektor parabola. Sistem ini terdiri dari kolektor parabola yang berfungsi menampung energi suryakemudian energi tersebut diteruskan untuk memanaskan fluida kerja menjadi uap. Uap tersebut kemudian dimanfaatkan untuk menggerakkan mesin Stirling atau mengerakan turbin uap. Sistem pembangkit listrik tenaga surya kolektor parabola 25 kW membutuhkan area sekitar 90 meter persegi. Tabel 2 mentabulasikan hasil perhitungan produksi energi listrik yang dihasilkan oleh system pembangkit listrik tenaga surya kolektor parabola.

**Tabel 2.** Produksi listrik sistem pembangkit listrik tenaga surya menggunakan kolektor parabola

Kapasitas Sistem	Kapasitas kolektor	Jumlah kolektor parabola	Produksi Listrik Tahunan (kWh)	Produksi listrik 20 tahun (kWh)	Luas area yang dibutuhkan (m <sup>2</sup> )
10 kW	25	1x1=1	26.565	528.378	90
100 kW	25	2x2=4	96.579	1.920.956	360
225 kW	25	3x3=9	209.580	4.168.546	810
400 kW	25	4x4=16	365.826	7.276.279	1440
625 kW	25	5x5=25	565.362	11.245.050	2250
2500 kW	25	10x10=100	2.213.189	44.020.329	9000
10000 kW	25	20x20=400	8.762.275	174.281.650	36000

Berdasarkan pada Tabel 1 dan Tabel 2, untuk kapasitas system 10.000 kW (10 MW), diperoleh bahwa produksi listrik yang dihasilkan oleh panel PV pelacakan 2 sumbu masih lebih besar dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga surya kolektor parabola. Akan tetapi luas area yang dibutuhkan pembangkit listrik tenaga surya kolektor parabola

lebih kecil dibanding dengan PV dengan system pelacakan 2-sumbu. Akan tetapi ditinjau dari perangkat system yang membutuhkan mesin stirling atau turbin uap, tentu akan membutuhkan biaya tambahan dalam perawatannya, maka pembangkit listrik tenaga surya kolektor parabola dianggap tidak layak untuk Universitas.

Analisis aspek ekonomi dan finansial dari pembangkit listrik tenaga surya susunan panel PV dan pembangkit listrik tenaga surya kolektor parabola mesin stirling dilakukan dengan memperkirakan biaya pembangkit listrik menggunakan software SAM (System Advisor Model). Perbandingan hasil analisa ekonomi untuk kedua pembangkit listrik tenaga surya ditunjukkan dalam Tabel 3. Analisis dilakukan untuk pembangkit listrik tenaga surya dengan daya 10 MW. Dari tabel dapat dilihat bahwa biaya produksi listrik menggunakan panel PV masih lebih murah dibandingkan dengan kolektor parabola. Hal ini dapat dijadikan pertimbangan oleh Universitas dalam penyediaan energi listrik pada masa yang akan datang.

**Tabel 3.** Perbandingan hasil Analisa ekonomi sistem pembangkit listrik tenaga surya

Uraian	Panel PV 2-Sumbu	Kolektor Parabola
Annual energy (year 1)	16,925,204 kWh	9,708,744 kWh
Capacity factor (year 1)	19.3%	11.1%
PPA price (year 1)	8.10 €/kWh	32.71 €/kWh
PPA price escalation	1.00 %/year	1.00 %/year
Levelized PPA price (nominal)	8.75 €/kWh	35.43 €/kWh
Levelized PPA price (real)	6.99 €/kWh	28.13 €/kWh
Levelized COE (nominal)	8.26 €/kWh	33.27 €/kWh
<b>Levelized COE (real)</b>	<b>6.60 €/kWh</b>	<b>26.42 €/kWh</b>
Net present value	\$781,385	\$2,042,813
Internal rate of return (IRR)	11.00 %	11.00 %
Net capital cost	\$11,975,404	\$32,967,976
Equity	\$4,964,136	\$15,271,329
Size of debt	\$7,011,268	\$17,696,648

#### 4. Kesimpulan

Telah dilakukan analisa pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya di kampus dengan studi kasus pada Universitas Samudra. Hasil analisa menunjukkan bahwa meskipun energi matahari dapat digunakan untuk memenuhi hingga 42% dari kebutuhan listrik universitas saat ini. Hasil analisis untuk pembangkit listrik menggunakan susunan panel fotovoltaik 1 KW tanpa pelacakan posisi surya menghasilkan listrik tahunan sebesar 1.281,51 kWh pertahun, Susunan fotovoltaik dengan pelacakan 1-sumbu menghasilkan listrik tahunan sebesar 1.551,79 kWh pertahun, dan susunan fotovoltaik dengan

pelacakan 2-sumbu menghasilkan listrik tahunan sebesar 1.6.693,54 kWh pertahun. Berdasarkan pada hasil analisa, untuk kapasitas sistem 10.000 kW (10 MW), diperoleh bahwa produksi listrik yang dihasilkan oleh panel PV pelacakan 2 sumbu masih lebih besar dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga surya kolektor parabola. Akan tetapi luas area yang dibutuhkan pembangkit listrik tenaga surya kolektor parabola lebih kecil dibanding dengan sistem PV

#### Referensi

- [1] BP, *Statistical Review of World Energy*, 68th.ed. 2019.
- [2] V. Smil, "21th Century Energy Some sobering thoughts," 2006.
- [3] R. J. Yang and P. X. W. Zou, "Building integrated photovoltaics (BIPV): Costs, benefits, risks, barriers and improvement strategy," *Int. J. Constr. Manag.*, vol. 16, no. 1, pp. 39–53, 2016.
- [4] Y. Sun, "LIFE CYCLE ASSESSMENT OF A NOVEL BUILDING- - - INTEGRATED PHOTOVOLTAIC- - - THERMAL ( BIPVT ) SYSTEM," no. January, 2014.
- [5] R. Pereira, "Design and Optimization of Building Integration PV/T Systems (BIPV/T)," 2015.
- [6] C. Peng, Y. Huang, and Z. Wu, "Building-integrated photovoltaics (BIPV) in architectural design in China," *Energy Build.*, vol. 43, no. 12, pp. 3592–3598, 2011.
- [7] B. Nikolaos and L. Kittima, "Building integrated photovoltaics ( BIPV ) Tools for Implementation and Design Approaches Part 1 : Tools for Implementation Part 2 : Thesis Report ( Tools for Implementation and Design Approaches )," no. 465, 2012.
- [8] S. Strong, "Building Integrated Photovoltaic (BIPV)," 2016. .
- [9] B. P. Jelle, C. Breivik, and H. Drolsum Røkenes, "Building integrated photovoltaic products: A state-of-the-art review and future research opportunities," *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, vol. 100, no. 7465, pp. 69–96, 2012.
- [10] A. Juaidi, F. G. Montoya, I. H. Ibrik, and F. Manzano-agugliaro, "An overview of renewable energy potential in Palestine," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 65, pp. 943–960, 2016.
- [11] W. E. Alnaser, B. Eliagoubi, A. Al-kalak, and H. Trabelsi, "First solar radiation atlas for the Arab world," *Renew. Energy*, vol. 29, pp. 1085–1107, 2004.
- [12] P. G. Charalambous, G. G. Maidment, S. A. Kalogirou, and K. Yiakoumetti, "Photovoltaic thermal (PV/T) collectors: A review," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 27, no. 2–3,

- pp. 275–286, 2007.
- [13] M. G. Gulaliyev, E. R. Mustafayev, and G. Y. Mehdiyeva, “Assessment of Solar Energy Potential and Its Ecological-Economic Efficiency : Azerbaijan Case,” *Sustainability*, pp. 1–11, 2020.
- [14] A. A. A. Hafez and A. Alblawi, “A feasibility study of PV installation: Case study at Shaqra University,” *2018 9th Int. Renew. Energy Congr. IREC 2018*, no. Irec, pp. 1–5, 2018.
- [15] F. Cucchiella, I. D’Adamo, and M. Gastaldi, “Economic analysis of a photovoltaic system: A resource for residential households,” *Energies*, vol. 10, no. 6, pp. 1–15, 2017.
- [16] H. A. Kazem, M. H. Albadi, A. H. A. Al-Waeli, A. H. Al-Busaidi, and M. T. Chaichan, “Techno-economic feasibility analysis of 1MW photovoltaic grid connected system in Oman,” *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 10, no. May, pp. 131–141, 2017.
- [17] J. Uwibambe, “Design of Photovoltaic System for Rural Electrification in Rwanda,” 2017.
- [18] L. Lisell and G. Mosey, “Feasibility Study of Economics and Performance of Solar Photovoltaics in Nitro, West Virginia A Study Prepared in Partnership with the Environmental Protection Agency for the RE-Powering America’s Land Initiative: Siting Renewable Energy on Potentially Co,” *Natl. Renew. Energy Lab.*, vol. Technical, no. August, pp. 1–54, 2010.
- [19] B. Bakhiyi, F. Labrèche, and J. Zayed, “The photovoltaic industry on the path to a sustainable future — Environmental and occupational health issues,” *Environ. Int.*, vol. 73, pp. 224–234, 2014.
- [20] National Wildlife Federation, *Harvard University Cambridge, Massachusetts, Solar Photovoltaic Installation*. 2010.
- [21] F. Ferroni and R. J. Hopkirk, “Energy Return on Energy Invested ( ERoEI ) for photovoltaic solar systems in regions of moderate insolation,” *Energy Policy*, vol. 94, pp. 336–344, 2016.