

Kajian Penggunaan Pembangkit Listrik Photovoltaik Atap Sebagai Upaya Implementasi *Green Campus*

Hamdani Umar^{1,*}, Munira Amudy², Razali Thaib³

^{1,3}Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 23111
hamdani@unsyiah.ac.id

²Bagian Perencanaan, Biro Akademik, Kemahasiswaan, Perencanaan dan Kerjasama, Universitas Samudra, Kota Langsa, 24416

Abstrak— Konsep *Green Campus* mengartikan bahwa Universitas telah menerapkan kegiatan yang bertujuan melestarikan lingkungan, efisiensi energi, dan penciptaan kondisi yang nyaman untuk belajar dan bekerja. Pemanfaatan energi baru terbarukan merupakan salah satu langkah dalam upaya menuju *Green Campus*. Kajian ini ditujukan untuk menganalisa kelayakan secara teknik dan finansial pembangunan Pembangkit Listrik tenaga Surya di atap bangunan gedung dalam lingkungan kampus. Dengan menggunakan data masterplan kampus Universitas Samudra, telah dilakukan analisa kelayakan teknis dan finansial menggunakan software System Advisor Model (SAM), diperoleh hasil dengan luas atap yang tersedia, daya listrik yang dapat dibangkit sebesar 3 MW. Dan secara finansial membutuhkan biaya produksi listrik 11,7 cents/kWh.

Kata Kunci—Pembangkit listrik tenaga surya, *Green Campus*, finansial, SAM software

I. PENDAHULUAN

Isu pemanasan global telah menjadikan pelestarian lingkungan menjadi semakin populer setiap tahun. Masyarakat di seluruh dunia berusaha mengurangi kerusakan pada planet bumi dengan membuat sejumlah besar langkah. Pelaksanaan pembangunan berwawasan "*green technology*" tidak hanya pada penghematan konsumsi daya listrik, lansekap, dan makanan ekologis yang ditanam di daerah setempat, tetapi juga pengumpulan limbah yang terpisah. Adalah kesadaran pribadi bahwa Anda adalah bagian dari keseluruhan cara hidup memastikan stabilitas ekonomi yang lebih besar.

Universitas adalah pusat pengembangan lingkungan perkotaan, serta bagian yang terintegrasi dengan metropolis modern. Lanskap kampus saat ini hampir selalu terdiri dari taman, hutan, dan salah satu konsep yang paling menjanjikan, yang mengikuti perkembangan universitas terkenal, dengan konsep "*Green campus*". Konsep ini melibatkan konstruksi bangunan ramah lingkungan, tersedianya fasilitas pemisahan dan daur ulang limbah, penggunaan bangunan "*zero emission of heat*" dan area lansekap.

Green campus didefinisikan sebagai kampus yang berwawasan lingkungan, yaitu yang mengintegrasikan ilmu pengetahuan lingkungan ke dalam kebijakan, manajemen dan kegiatan tridharma perguruan tinggi. *Green campus* mempunyai kapasitas intelektual dan sumber daya dalam mengintegrasikan ilmu pengetahuan dan tata nilai lingkungan ke dalam misi serta program programnya. *Green campus* harus menjadi contoh implementasi pengintegrasian ilmu lingkungan dalam semua aspek manajemen dan best practices pembangunan berkelanjutan (Hudaini dalam Puspadi, 2016).

Konsep *Green Campus* mengartikan bahwa Universitas telah menerapkan kegiatan yang bertujuan melestarikan lingkungan seperti: pengumpulan limbah, efisiensi energi, promosi penggunaan sepeda, dan penciptaan kondisi yang nyaman untuk belajar dan bekerja. Disisi lain adanya gagasan implementasi pembangunan berkelanjutan yang merupakan upaya bersama seluruh civitas akademika Universitas.

Telah banyak kajian dilakukan pemanfaatan energi surya sebagai sumber energi listrik pada kampus dalam usaha mendukung implementasi konsep "*Green Campus*" [1–12]. Song [9] melakukan kajian penggunaan Photovoltaik Atap

(*Rooftop Photovoltaic*) sebagai penyedia energi listrik untuk beberapa gedung pada satu universitas berlokasi di Busan, Korea Selatan. Dari hasil kajian dapat disimpulkan sistem Photovoltaik (PV) tidak hanya sebagai penyedia energi listrik, akan tetapi mempunyai pengaruh yang signifikan dalam berkontribusi pada kebijakan untuk pengurangan emisi gas rumah kaca dan mitigasi isu dampak lingkungan.

Gambar 1. Rangkaian perangkat PLTS

Universitas memiliki misi multidimensi dalam mencapai tujuan sistem pendidikan, berbagai metode dilakukan oleh banyak universitas tidak hanya memasukkan pendidikan lingkungan ke dalam kurikulum mereka, tetapi juga mendorong penerapan hidup keberlanjutan di dalam kampus, seperti produksi listrik dengan memanfaatkan sumber energi terbarukan [6].

Sebagian besar kampus-kampus tersebut memiliki luas lahan yang umumnya besar dan bentuk hamparan luas, dan tidak terhalang oleh bangunan lainnya, sehingga sangat potensial untuk digunakan untuk penerapan pembangkit listrik tenaga surya terutama penerapan sistem *Rooftop Photovoltaic*.

Rooftop Photovoltaic adalah sistem yang menggunakan satu atau lebih panel fotovoltaik, dipasang di atap bangunan perumahan atau komersial, untuk mengubah sinar matahari menjadi listrik. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen diantaranya modul fotovoltaik, sistem pengaturan, kabel listrik, inverter surya dan aksesoris listrik lainnya.

Lingkungan kampus menyediakan sejumlah besar ruang atap kosong dan secara inheren dapat menghindari potensi penggunaan lahan dan masalah lingkungan. Memperkirakan besarnya radiasi matahari yang dapat diterima oleh panel PV dipengaruhi oleh waktu dalam setahun, kondisi cuaca, bajangan dari bangunan yang berdekatan, kemiringan dan bentuk atap.

Untuk mendapatkan daya tinggi, beberapa panel dapat diatur dalam rangkaian seri dan paralel pada luas area panel (modul) tertentu. Tinjauan literatur tentang sistem PV yang terhubung ke jaringan yang diteliti diterapkan oleh kampus-kampus memperlihatkan peningkatan total kapasitas terpasang secara terus-menerus. Beberapa hasil kajian penggunaan panel PV di kampus-kampus [13,14] sebagaimana dirangkum dalam Tabel 1.

Berdasarkan *Masterplan* Universitas Samudra sebagai Perguruan Tinggi Negeri yang baru dinegerikan pada Tahun 2013, telah menerapkan konsep Green Campus dalam rencana pembangunan infrastruktur dimasa yang akan datang. Pemanfaatan sumberdaya energi baru terbarukan sebagai penyedia energi listrik adalah konsep Green Campus yang menjadi unggulan Unsam yang didukung oleh kegiatan penghijauan dan penanganan limbah. Tujuan utama kajian ini adalah melakukan analisis potensi pemanfaatan atap bangunan gedung untuk pemasangan PV sistem.

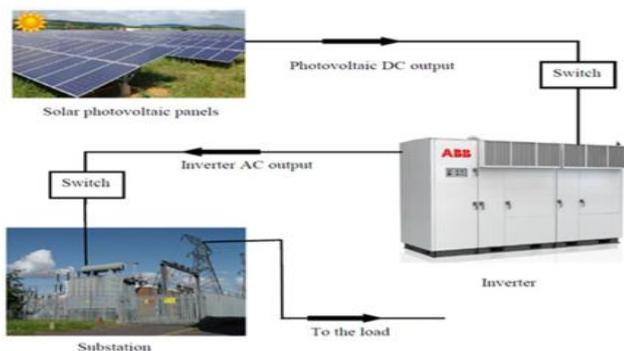
Tabel 1. Penggunaan PV di Kampus

Nama Institusi	Negara	H(kW/m ² /d)	Total Capacity (kWp)	Status	Ref
Arizona State University	USA	5,84	28.095	Terpasang	[6]
Colorazo State University	USA	4,46	6.754	Terpasang	[6]
California State University, Fullerton	USA	5,38	6	Terpasang	[6]
Yale University	USA	4,01	1.25	Terpasang	[6]
Jaen University	Spanyol	5,11	200	Terpasang	[6]
Oregon University	USA	4,75	2000	Terpasang	[6]
University of Queensland	Australia	5,50	1220	Terpasang	[7]

II. METODOLOGI PENELITIAN

Universitas Samudra (UNSAM) adalah salah satu Perguruan Tinggi Negeri di Provinsi Aceh, yang terletak di Kota Langsa. Unsam memiliki lahan kampus seluas 49,8 Ha. Secara geografi Unsam letaknya pada 4.446950° Lintang Utara, dan 97.974833° Bujur Timur, . Elevasi berada 13 m diatas permukaan laut.

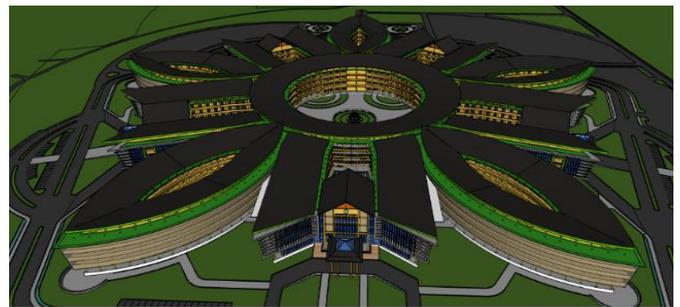
Desain sistem pembangkit listrik PV pada kajian ini ditunjukkan pada Gambar 1. Lokasi Peletakan: Panel PV direncanakan seluruhnya akan diletakkan diatas atap bangun yang akan dibangun. Gambar 2 memperlihatkan site plan bangunan gedung dalam lingkungan Universitas Samudra.



Gambar 1. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

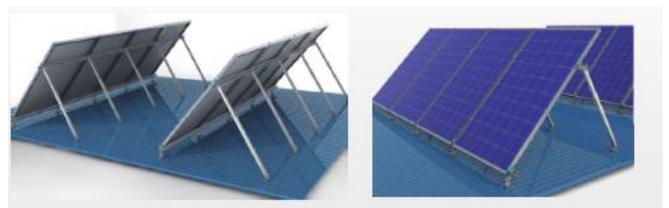
Sedangkan metode pelatakan panel PV ditunjukkan dalam Gambar 3. Sudut kemiringan yang diusulkan untuk pembangkit listrik tenaga surya sama dengan garis lintang lokasi, karena yang terbaik untuk penyerapan maksimum radiasi matahari. Garis lintang lokasi bangunan gedung yang direncanakan adalah 4.45°, sehingga sudut kemiringannya diambil ~ 5°.

Gambar 3. Rangkaian peralatan PLTSP ada saat ini telah tersedia berbagai jenis panel PV dipasar dan telah digunakan pada berbagai pembangkit listrik tenaga surya. dalam berbagai industri ini. Untuk pemakaian pada pembangkit listrik skala besar, banyak digunakan panel PV jenis *polycrystalline*. Pada kajian ini kajian ini akan digunakan PV Renesola, model - JC260M-24 / Bbh-b,dengan daya total 4.999 Wp pada STC dan 4498 Wp pada kondisi operasi (pada 50 °C). Karakteristik operasi array adalah Umpp 591 V dan Impp 7609 A. Laju degradasi untuk panel dianggap 0,5%/tahun. Panel PV dapat dipasang pada atap datar atau miring. Untuk aplikasi di belahan bumi utara, panel harus dipasang menghadap ke selatan. Ketika modul miring relatif ke permukaan atap, bayangan akan terbentuk dan ruang yang memadai harus dipertahankan antara barisan modul untuk meminimalkan kehilangan pengumpulan energi karena naungan. Untuk inverter dipilih produksi ABB Corporation, model ULTRA 750-TL-OUTD-2-US690-M/S, yang beroperasi pada 470-600 V, dan memiliki daya nominal 600 kWac. Analisa dilakukan berdasarkan luas atap bangunan gedung yang akan dipasang panel PV. Menggunakan data dimensi panel PV, dapat ditentukan jumlah panel PV yang dapat dipasang pada masing-masing atap bangunan gedung. Kemudian dilanjutkan analisis kinerja sistem pembangkit listrik tenaga surya menggunakan perangkat lunak



System Advisor Model (SAM).

Gambar 2. Siteplan Universitas Samudra



Gambar 3. Metode peletakan PV diatap bangunan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

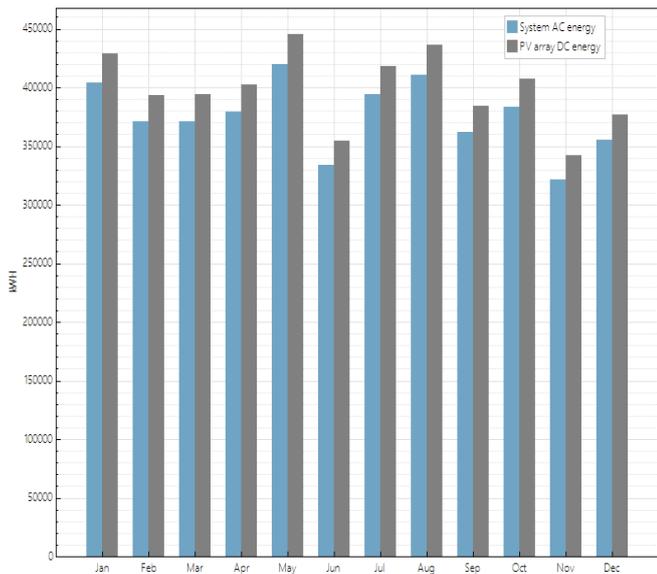
Hasil perhitungan luas area atap diperoleh luas total atap yang dapat dipasang panel PV adalah 21.500 m², dengan jumlah total panel PV sebanyak 13.062 buah. Daya total listrik yang dapat dibangkitkan oleh sistem pembangkit listrik tenaga surya ditunjukkan dalam Tabel 2.

Hasil perhitungan produksi energi bulanan yang dihasilkan oleh sistem PLTS atap ditunjukkan dalam Gambar 4. Dari gambar terlihat bahwa produksi terendah terjadi pada bulan November dan tertinggi pada bulan Mei. Hal ini sangat ditentukan oleh posisi matahari yang menghasilkan energi surya yang diterima oleh panel PV.

Dari hasil perhitungan diperoleh produksi energi yang diterima oleh sistem adalah 38.476.608 kWh/tahun, sedangkan energi listrik yang dapat dimanfaatkan adalah sebesar 4.506.304 kWh/tahun. Maka efisiensi energi pada sistem PLTS adalah sebesar 12,31%. Kehilangan energi terbesar (10.364%) adalah diakibatkan oleh panel PV dalam mengkonversikan energi dari surya menjadi arus DC.

Tabel 2. Hasil perhitungan daya yang dihasilkan PLTS

Panel PV	
Model	Renesola America JC260M-24/Bx-b
Cell material	Multi-c-Si
Module area	1.63 m ²
Module capacity	260.16 DC Watts
Quantity	13,062
Total capacity	3.4 DC MW
Total area	21,251 m ²
Inverters	
Model	ABB: ULTRA-1500-TL-OUTD-4-US-690-x-y-z
Unit capacity	1500 AC kW
Input voltage	585 - 800 VDC DC V
Quantity	2
Total capacity	3 AC MW
DC to AC Capacity Ratio	1.13
AC losses (%)	1.99
Annual Results (in Year 1)	
GHI kWh/m ² /day	4.96



Gambar 4 Produksi energi bulanan yang dihasilkan oleh sistem PLTS

Analisis kemudian dilanjutkan dengan analisis finansial kelayakan pembangunan PLTS dengan memanfaatkan atap gedung bangunan di Universitas Samudra. Besarnya biaya investasi awal yang dibutuhkan terdiri dari biaya pengadaan panel PV, inverter, dan perlengkapannya. Berdasarkan data harga yang diperoleh dari Renesola [15], dan

ABB [16] besarnya biaya investasi awal ditunjukkan dalam Tabel 3. Diperoleh biaya investasi per Wdc adalah \$ 1,33.

Tabel 3. Biaya investasi awal

No.	Uraian	Volume	Satuan	Harga Satuan	Jumlah Biaya
A. Direct Capital cost					
	Panel PV	13,602		\$ 99.93	\$ 1,359,310.00
	Inverter	2		\$ 169,913.50	\$ 339,827.00
	Balance of system equipment	3,398,275	Watt Dc	\$ 0.20	\$ 679,655.00
	Installation Labor	3,398,275	Watt Dc	\$ 0.20	\$ 679,655.00
	Installer margin overhead	3,398,275	Watt Dc	\$ 0.20	\$ 679,655.00
Subtotal					\$ 3,738,102.00
Contingency (3%) of subtotal					\$ 112,143.06
Total direct cost					\$ 3,850,245.06
B. Indirect Capital cost					
	Permitting environmental studies	3,398,275	Watt Dc	\$ 0.06	\$ 203,896.48
	Engineering and developer overhead	3,398,275	Watt Dc	\$ 0.05	\$ 169,913.75
	Grid interconnection	3,398,275	Watt Dc	\$ 0.05	\$ 169,913.75
	Sales tax (5% x 67 % direct cost)				\$ 128,983.21
Total indirect cost					\$ 672,707.19
C. Total intalled Cost					\$ 4,522,952.25
Total installed cost per capacity (\$/W dc)					\$ 1.33

Analisis finansial dilakukan menggunakan parameter yang ditunjukkan dalam Tabel 4. Pada analisa ini diasumsi biaya modal untuk pemasangan PLTS akan menggunakan pinjaman dana dari Bank sebesar 70% dari biaya total, dengan jangka waktu pinjaman selama 25 tahun dengan bunga sebesar 7%.

Tabel 4. Parameter analisis finansial

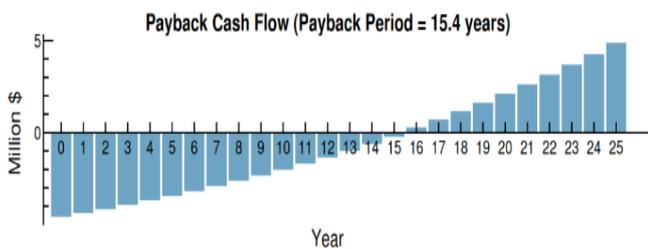
Annual peak demand	2,700 kW
Annual total demand	23,652,000 kWh
Annual rate escalation:	1%/year
Total installed cost	\$4,522,952
Project life	25 years
Inflation rate	3.50%
Real discount rate	6.40%
Debt fraction	70%
Amount	\$3,166,066
Term	25 years
Rate	7%
National income tax	16 %/year
Sales tax (% of indirect cost basis)	5%
Insurance (% of installed cost)	1 %/year
Property tax (% of assessed val.)	1 %/year

Hasil analisis ditunjukkan dalam Tabel 5. diperoleh biaya produksi listrik adalah 11,7 cent/kWh. Berdasarkan

Kepmen ESDM Nomor 55 K/20/MEM/2019 tentang Besaran Biaya Pokok Pembangkitan PT PLN (Persero) Tahun 2018, besaran biaya pokok pembangkitan listrik menggunakan PLTS adalah 11,74 cents/kWh. Maka secara finansial PLTS sangat layak untuk dibangun di Universitas Samudra. Waktu yang dibutuhkan untuk pengembalian modal (payback period) adalah 15.4 tahun dengan payback cash flow sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 5. Dapat disimpulkan bahwa penggunaan PLTS ini akan menguntungkan bagi kampus selama 10 tahun, dimana energi listrik yang dihasilkan dapat dijual kepada PLN.

Tabel 5. Hasil Analisis finansial

Results	
Nominal LCOE	11.7 cents/kWh
Net present value	(\$826,100)
Payback period	15.4 years



Gambar 5. Cash flow pengembalian modal

IV. KESIMPULAN

Pada kajian ini telah dilakukan kelayakan implementasi PLTS di Kampus Universitas Samudra menggunakan software System Advisor Model (SAM). Dari hasil kajian diperoleh:

- Pemasangan PLTS pada atap bangunan gedung yang didasarkan pada Masterplan UNSAM, akan mampu menghasilkan daya listrik 3 MW. Karena sebagian besar kebutuhan listrik di kampus adalah pada siang hari, maka pemasangan PLTS sangat cocok untuk menjadi pertimbangan.
- Dari hasil analisis dengan investasi awal \$4.522,952, maka seluruh biaya pemakaian listrik akan melalui yang dibayarkan kepada PLN akan berkurang secara signifikan, dan jika diperhitungkan akan mampu mengembalikan investasi awal selama 15,4 tahun.

- Pembangkit listrik tenaga surya yang diusulkan akan menjadi peluang bagi UNSAM untuk mendukung target Pemerintah Indonesia dalam penggunaan energi baru terbarukan. Disisi lain kemandirian energi kampus UNSAM akan menjadi langkah perintis dalam konteks pembangunan berkelanjutan dan *green campus*.

REFERENSI

- [1] Murphy F and McDonnell K 2017 A feasibility assessment of photovoltaic power systems in Ireland; a case study for the Dublin region *Sustainability (Switzerland)* **9** 1–14
- [2] Hafez A A A and Alblawi A 2018 A feasibility study of PV installation: Case study at Shaqra University 2018 *9th International Renewable Energy Congress, IREC 2018* 1–5
- [3] Kristiawan R B, Widiastuti I and Suharno S 2018 Technical and economical feasibility analysis of photovoltaic power installation on a university campus in Indonesia *MATEC Web of Conferences* **197** 08012
- [4] da Silva G D P 2017 Utilisation of the System Advisor Model to Estimate Electricity Generation by Grid-Connected Photovoltaic Projects in all Regions of Brazil *International Journal of Software Engineering and Its Applications* **11** 1–12
- [5] H. Jo J, Ilves K, Barth T and Leszczynski E 2017 Correction: Implementation of a large-scale solar photovoltaic system at a higher education institution in Illinois, USA *AIMS Energy* **5** 313–5
- [6] Hasapis D, Savvakis N, Tsoutsos T, Kalaitzakis K, Psychis S and Nikolaidis N P 2017 Design of large scale prosuming in Universities: The solar energy vision of the TUC campus *Energy and Buildings* **141** 39–55
- [7] Kathar S S, Thosar A G and Patil G C 2017 Design of rooftop solar pv **8** 81–92
- [8] Lee J 2012 Economic Feasibility Study of Photovoltaic System on UNH Campus
- [9] Song J and Choi Y 2015 Evaluation of rooftop photovoltaic electricity generation systems for establishing a green campus *Geosystem Engineering* **18** 51–60
- [10] Su Y and Yan J W 2013 Methodology of Measurement and Calculation of Building Energy Management System in University Campus *Applied Mechanics and Materials* **368–370** 454–9
- [11] Barua S, Prasath R A and Boruah D 2017 Rooftop Solar Photovoltaic System Design and Assessment for the Academic Campus Using PVsyst Software *International Journal of Electronics and Electrical Engineering* **5** 76–83
- [12] Tarigan E 2018 Simulation and Feasibility Studies of Rooftop PV System for University Campus Buildings in Surabaya, Indonesia *INTERNATIONAL JOURNAL of RENEWABLE ENERGY RESEARCH* **8** 895–908
- [13] AASHE 2015 AASHE’s solar photovoltaic database *AASHE*
- [14] University of Queensland 2016 UQ Photovoltaic Sites *University of Queensland*
- [15] Renesola 2019 SOLAR PANEL *Renesola*
- [16] ABB 2019 Solar inverters *ABB*