

ANALISIS TEKNO EKONOMI ATAP SURYA STUDI KASUS DI KOTA MEDAN, INDONESIA

Wilson S Nababan^{1,*}, Suriady Sihombing¹, Siwan Edi Amanta Perangin angin¹,
Richard A.M Napitupulu¹

Prodi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas HKBP Nommensen, Medan 20234

*wilson.nababan@uhn.ac.id

Abstract

Solar roofs are one potential mitigation measure to meet GHG emission reduction and renewable energy targets. Where the Indonesian state has issued its promise to reduce Greenhouse Gas (GHG) emissions. Mitigation measures include increasing the use of renewable energy. As more attention is being focused on developing this renewable energy resource globally, the technical and economic assessment of this resource is critical to ascertain its feasibility. In this study, a technological and economic analysis of solar roof tops is presented. The analysis was carried out based on solar irradiation in the city of Medan, Indonesia. Solar irradiation over several days was measured. The measured data and the solar photovoltaic module panels available in the Indonesian market are used to carry out the technical analysis. Based on the technical analysis and economic analysis carried out, the economic analysis of the results of the visualization of the power produced by the PV system which was carried out for 1 year resulted in a total value of electricity of IDR 3,835,763 for the city of Medan. It is expected to provide the necessary information to build cities with low emissions.

Keywords: *Solar Roof, Photovoltaics, Technoeconomics*

Abstrak

Atap surya adalah salah satu langkah mitigasi potensial untuk memenuhi target penurunan emisi GRK dan energi terbarukan. Dimana negara Indonesia telah mengeluarkan janjinya untuk mengurangi emisi Gas Rumah Kaca (GRK). Langkah-langkah mitigasi itu termasuk meningkatkan penggunaan energi terbarukan. Karena lebih banyak perhatian difokuskan pada pengembangan sumber daya energi terbarukan ini secara global, penilaian teknis dan ekonomi sumber daya ini sangat penting untuk memastikan kelayakannya. Dalam penelitian ini, analisis teknologi dan ekonomi atap surya disajikan. Analisis dilakukan berdasarkan penyinaran matahari di kota Medan, Indonesia. Iradiasi matahari selama beberapa hari diukur. Data terukur dan panel modul fotovoltaik surya yang tersedia di pasar Indonesia digunakan untuk melakukan analisis teknis. Berdasarkan analisis teknis dan analisis ekonomi yang dilakukan, analisis ekonomi dari hasil visualisasi daya yang dihasilkan oleh sistem PV yang dilakukan selama 1 tahun menghasilkan total nilai listrik sebesar Rp 3.835.763 untuk Kota Medan. Diharapkan dapat memberikan informasi yang diperlukan untuk membangun kota dengan emisi rendah.

Kata kunci: *Atap Surya, Fotovoltaik, Teknoekonomi*

1. Pendahuluan

Indonesia yang terletak di garis khatulistiwa dan memperoleh sinar matahari rata-rata 8 jam/hari memiliki potensi energi surya yang cukup besar. Besar daya yang dapat dibangkitkan energi surya sekitar 100 watt per m², pada efisiensi sel surya sekitar 10%. Energi surya ini diubah menjadi energi listrik dengan bantuan photovoltaic, sehingga merupakan salah satu alternatif pembangkit tenaga listrik. Sebagai hasil dari emisi gas rumah kaca (GRK) dari bahan bakar fosil dan dampak potensial mereka terhadap perubahan iklim, banyak negara sekarang memeriksa kembali kebijakan energi nasional mereka dengan pandangan beralih ke sumber daya

rendah karbon dan energi terbarukan. Selain ramah lingkungan, sebagian besar sumber daya energi terbarukan dapat dianggap sebagai sumber daya energi lokal.

Adapun Chong Li, Dequn Zhou, Yuan Zheng melakukan evaluasi dan membandingkan kinerja teknologi-ekonomi dari sistem tenaga photovoltaic (PV) yang terhubung ke jaringan untuk bangunan PV surya atap yang berisi 14 keluarga di lima zona iklim di Cina. Mereka mendapatkan Radiation Rata-rata radiasi matahari pada tahun-tahun biasa untuk Beijing (C), Harbin (SC), Shanghai (HC), Guangzhou (HW), dan Kunming (M) adalah 4,32, 3,96, 3,81, 3,69, dan 4,75 kWh /m/ hari untuk masing-masing daerah [2]. Ihsan Ali, GM Shafiullah, dan Tania Urmeem melakukan studi kelayakan dengan menghitung luas atap yang tersedia dari bangunan yang ada dan kemudian melakukan analisis tekno-ekonomi dari sistem yang diusulkan untuk mengidentifikasi potensi atap PV dan penyimpanan baterai untuk Pulau di Maladewa[3]. Nallapaneni Manoj Kumar, K. Sudhakar & Mahendran Samykanon menganalisis kelayakan pengembangan pembangkit listrik tenaga surya di dua kampus berbeda dari Universiti Malaysia Pahang (UMP)[4]. Piyush Sharma, Haranath Bojja, Pradeep Yemula Dalam membuat sebuah model matematika yang dapat melakukan analisis tekno-ekonomi dari sistem tata surya atap di India. Jurnal ini walaupun menggunakan model konservatif, didasarkan pada kondisi pasar yang berlaku, membuat kasus yang menarik bagi konsumen yang beralih dari jaringan listrik ke sistem PV surya atap [5]. Nemanja Savi, Vladimir Kati, Dragan Milievi, Boris Dumni, Nenad Kati melakukan analisis tekno-ekonomi pembangkit listrik PV atap di Republik Serbia[6]. Yousef Gharbia dan Mohammed Anany menyelidiki kelayakan teknis dan ekonomis pemasangan panel surya PV di atap pom bensin setempat di Kuwait[7]. Imad Ibrik, Fadia Hashaika menganalisa dampak techno-ekonomi sistem solar photovoltaic rooftop yang terkoneksi jaringan untuk sekolah di Palestina. Kinerja sistem PV yang diterapkan menunjukkan bahwa rasio kinerja rata-rata (PR) adalah 78%, dan energi tahunan rata-rata yang dihasilkan oleh masing-masing sistem sama dengan 10,930 MWh/tahun[8]. Mehebut Alam melakukan analisis ekonomi teknologi tata surya atap seiring dengan potensi dan prospek masa depan di India [9]. Kotub Uddin, Rebecca Gough, Jonathan Radcliffe, James Marco, Paul Jennings melakukan analisis tekno-ekonomi dari viabilitas fotovoltaik perumahan dengan sistem menggunakan baterai lithium-ion untuk penyimpanan energi di Inggris. Dimana sistem fotovoltaik atap yang terintegrasi dengan penyimpanan baterai lithium-ion adalah rute yang menjanjikan untuk dekarbonisasi sektor listrik Inggris[10]. Amin Lahnaoui, Peter Stenzel, Jochen Linssen melakukan analisis tekno-ekonomi menyelidiki dampak sudut kemiringan dan orientasi pada profil produksi generator surya atap dan kinerja terkait sistem penyimpanan baterai fotovoltaik untuk rumah keluarga tinggal di lokasi tertentu di Jerman[11].

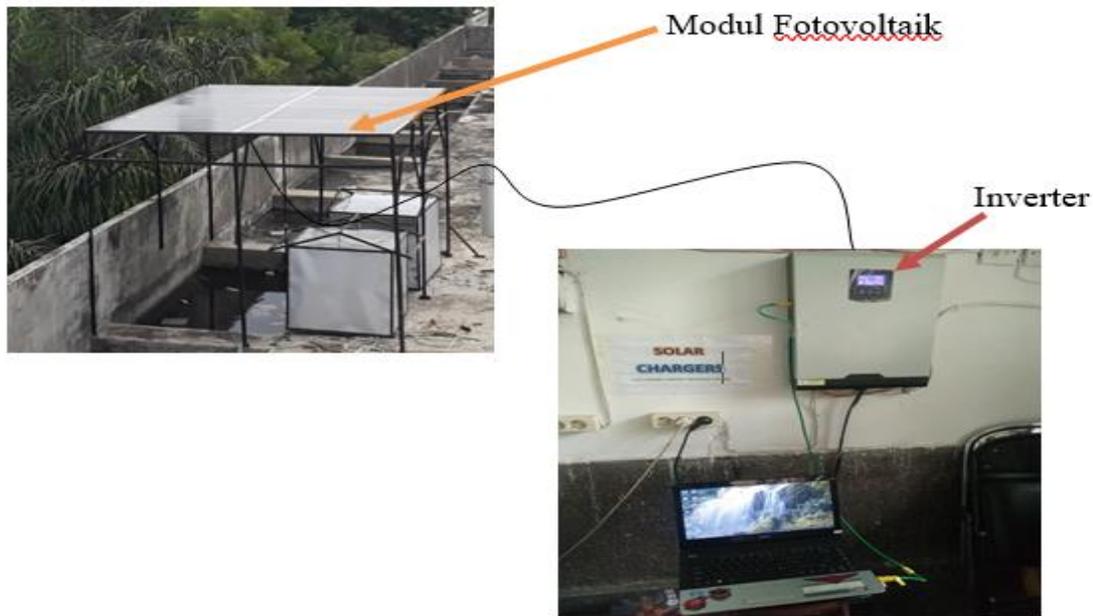
Dalam penelitian ini, analisis karakteristik ekonomi di atas atap surya disajikan. Analisis dilakukan oleh peneliti berdasarkan iradiasi matahari di kota Medan Indonesia. Iradiasi matahari selama beberapa hari diukur. Data yang diukur dan panel fotovoltaik surya yang tersedia di pasar Indonesia digunakan untuk melakukan analisis teknis dan analisis ekonomi. Hasilnya diharapkan dapat memberikan informasi apakah dengan pemasangan Photovoltaic atap surya mempunyai nilai ekonomis yang efektif dan juga untuk membangun kota Medan dengan emisi rendah.

2. Metode

Sistem PV yang terhubung ke jaringan yang dipertimbangkan dalam penelitian ini dipasang pada bagian datar dari sebuah gedung di kota Medan, Indonesia. Kota Medan terletak di garis lintang $03^{\circ} 35'$ LU dan bujur $098^{\circ} 40'$ BT, dan berada pada ketinggian 2,5 - 37,5 meter di atas permukaan laut. Sistem PV terdiri dari delapan modul dengan daya puncak 250 Wp untuk masing-masing modul (delapan modul ini mempunyai model yang sama yaitu Model No: AN Model No: AN-PSP-250W. Total kapasitas terpasang sistem adalah 2,0 kWp dengan luas total

13,01 m². Inverter yang digunakan untuk penelitian ini adalah Model:SCI02-3200 dan memiliki kapasitas penilaian 3,2 kW.

Pengukuran kinerja terperinci dari sistem fotovoltaik dilakukan dari tanggal 18 hingga 24 Juni 2023. Selama periode pemantauan, parameter yang dicatat meliputi total modul iradiasi surya di pesawat, daya input energi sistem, dan daya output energi sistem final. Server web terintegrasi dalam inverter digunakan untuk data kinerja sistem yang diperoleh pada interval satu menit untuk parameter kinerja fotovoltaik per jam. Penempatan modul fotovoltaik dalam bangunan ditunjukkan pada Gambar dibawah ini.



Gambar 1. Desain Fotovoltaik Atap Surya

2.2. Analisa ekonomi

Unit biaya energi yang dihasilkan oleh sistem PV yang terhubung ke jaringan tergantung pada banyak faktor. Informasi yang akurat tentang faktor-faktor ini sangat penting untuk estimasi yang benar dari biaya energi yang dihasilkan oleh sistem. Beberapa faktor ini adalah:

- Cuaca spesifik lokasi (mis. insolasi matahari harian dan sinar matahari jam, suhu lingkungan);
- Komponen sistem (mis., modul PV, (yang pada gilirannya tergantung pada teknologi modul dan efisiensinya), biaya inverter, kabel dan biaya komponen listrik lainnya);
- Parameter ekonomi spesifik lokasi (mis., minat dan inflasi tarif serta instalasi dan, operasi dan pemeliharaan biaya);
- Harga listrik di lokasi;
- Kehidupan ekonomi sistem.

Namun apabila sistem PV dirancang secara optimal dan komponen disetujui dipilih secara tepat, biaya sistem dapat dinyatakan sebagai biaya per kapasitas terpasang sistem (biaya/kW) atau biaya per unit listrik yang dihasilkan oleh sistem (biaya / kWh) (yaitu, meratakan biaya listrik, LCOE). LCOE adalah ukuran dari biaya listrik marjinal selama periode waktu dan biasanya digunakan untuk membandingkan biaya pembangkit listrik dari berbagai sumber [12,13]. Selain itu, konsumen, terutama perumahan konsumen, mudah memahami pendekatan ini sejak listrik mereka tagihan biasanya dilaporkan dalam biaya per kWh.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini, kinerja ekonomi dari sistem PV diakses menggunakan Pendekatan LCOE. Menggunakan pendekatan LCOE untuk menentukan biaya

satuan energi melibatkan tiga langkah dasar: (i) estimasi total energi yang dihasilkan oleh sistem PV selama kehidupan ekonominya; (ii) perhitungan biaya investasi termasuk biaya operasi dan pemeliharaan proyek; dan (iii) membagi biaya siklus hidup dengan hasil energi oleh system[14]. Jika diasumsikan bahwa sistem PV menghasilkan jumlah output energi yang sama (E_A) di setiap tahun selama ini berguna seumur hidup, biaya investasi dapat disetahunkan menggunakan pemulihan modal faktor yang diberikan sebagai:

$$C_A = C_I \times CRF(i, n) \dots\dots\dots (15)$$

di mana C_A adalah biaya tahunan, C_I adalah biaya investasi, i adalah suku bunga tahunan, n adalah kehidupan ekonomi proyek (tahun) dan CRF adalah faktor pemulihan modal. CRF diberikan sebagai:

$$CRF(i, n) = \frac{i * (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \dots\dots\dots (16)$$

Dalam kebanyakan kasus, bagian tarif energi dari tagihan listrik bulanan dibebankan pada tingkat yang konstan dan tarif energi ini dapat bervariasi dari satu bulan ke yang lain, oleh karena itu, akan menarik untuk mengekspresikan Persamaan. (16) dan (15) masing-masing secara bulanan sebagai berikut:

$$CRF(Bulanan) = \frac{(1/12) * (1 + i)^{12n}}{(1 + (1/12))^{12n} - 1} \dots\dots\dots (17)$$

$$C_m = C_I \times CRF(Bulanan) \dots\dots\dots(18)$$

di mana C_m adalah biaya bulanan dan 12 adalah jumlah bulan dalam setahun. LCOE tahunan dan bulanan dapat diperkirakan dari:

$$LCOE_A = \frac{C_A * C_{(O\&M)a}}{E_A} \dots\dots\dots (19)$$

$$LCOE_m = \frac{C_m * C_{(O\&M)m}}{E_m} \dots\dots\dots(20)$$

di mana E_m adalah energi bulanan yang dihasilkan oleh sistem PV, $C_{(O\&M)a}$ adalah biaya operasi dan pemeliharaan tahunan, dan $C_{(O\&M)m}$ adalah biaya operasi dan pemeliharaan bulanan. Karena adanya tingkat inflasi, tingkat bunga nominal dapat dikoreksi untuk menghasilkan riil suku bunga (r) dengan menggunakan ekspresi Fisher seperti yang diberikan dalam Persamaan. (21):

$$1 + r = \frac{(1 + i)}{(1 + \tau)} \dots\dots\dots(21)$$

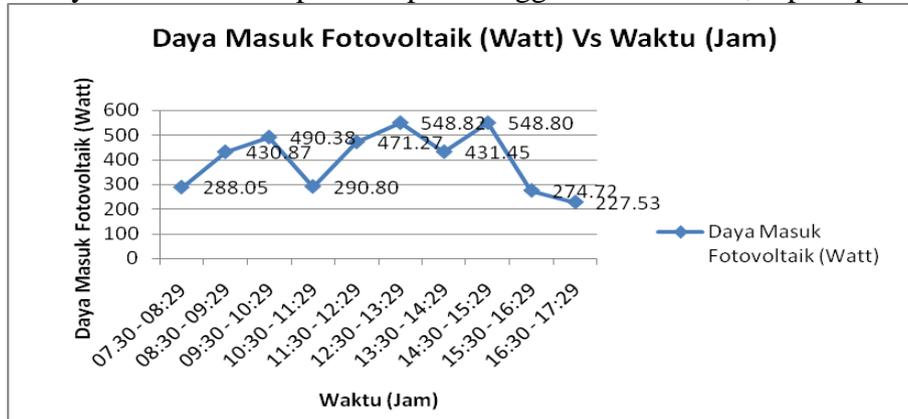
3. Hasil dan Diskusi

3.1. Hasil Pengujian Eksperimental Modul Polikristal

Analisis dilakukan untuk photovoltaic (PV) yang terdiri dari delapan modul dengan daya puncak 250 Wp/panel dengan luas total modul 13,01 m². Pengambilan data dengan posisi/sudut matahari sangat diperlukan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pergeseran sudut matahari pada selang waktu tertentu. Pengambilan data ini dilakukan pukul 07.30 hingga pukul

17.30 dari tanggal 18 hingga 24 Juni 2023. Hasil pengujian dapat dilihat pada gambar-gambar dibawah ini.

Dengan menggunakan inverter sebagai pengubah arus DC menjadi AC dan dihubungkan ke sebuah software solar energi maka didapat data pengujian PV sistem. Dan dapat dibuatkan grafik hubungan antara daya masuk terhadap waktu pada tanggal 18 Juni 2023, seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hubungan Daya Masuk PV terhadap Waktu

3.2. Biaya Investasi Pemasangan Solar Panel

Pada jurnal ini peneliti juga melakukan perhitungan terhadap biaya investasi pemasangan solar panel dengan kapasitas 2.0 kW. Dengan menghitung biaya investasi pemasangan solar panel kapasitas 2.0 kW diharapkan dapat memberikan informasi apakah dengan pemasangan Photovoltaic atap surya mempunyai nilai ekonomis yang efektif untuk membangun kota Medan dengan emisi rendah. Adapun biaya investasi pemasangan solar panel 2.0 kW dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah.

Tabel 1. Biaya Investasi Pemasangan Solar Panel 2.0 kW

PT. ENERGI SURYA TERPADU								
No	Nama Item	Spesifikasi	Qty	Sat	Patokan Harga	Patokan Harga	Sub Total	Sub Total (Rp)
					USD/Unit	Rp/Unit	USD	Kurs Rp 14300
1	Solar Panel	Type: Polycrystalline Silicon PV Module Max Power: 250w Vmp: 36.5V; Imp: 8.21A Size: 1640x992x40 mm 25 years power output guarantee	8	Pcs	\$225.39	-	\$1,803.12	Rp25,784,616
2	Grid-Tied Inverte	Max. DC Input Power: 2,2Kw Max. DC Input Voltage: 500V DC Voltage Range: 400V MPPT Voltage Range: 450~820V Max Input Current: 11A Rated AC Output Power: 2200w Rated AC Voltage: 230V Max AC Output Voltage: 11A Grid Frequency: 50/60Hz Max. Efficiency: 98% Size: 395*520*180; Weight: 15kg Warranty: 5 years	1	Pc	\$166.32	-	\$166.32	Rp2,378,376
3	Kabel	Standar internasional, spesifikasi cocok untuk stasiun PV on-grid 2200w	20	Mtr	\$14.85	-	\$297.00	Rp4,247,100
4	Konektor	Digunakan untuk koneksi antara panel	8	Pcs	\$7.56	-	\$60.48	Rp864,864
5	Bracket Dudukan Solar	Besi Siku	6	Pcs	-	Rp250,000	-	Rp1,500,000
6	Biaya dan Upah Rangka Besi Solar Panel	Besi Siku/m ² (Ket: Dengan ukuran panel 1640mm x 992 mm. Luas satu unit panel sekitar 1,63 m ² . Jumlah panel sebanyak 8 pcs. Sehingga Total luas keseluruhan	13.04	M ²	-	Rp200,000	-	Rp2,608,000
TOTAL INVESTASI PEMASANGAN SOLAR PANEL 2,0 kW								Rp37,382,956
Sumber: PT. ENERGI SURYA TERPADU; Email: Laurensius.aps@gmail.com; Website: www.estjakarta.com								

Dengan hasil visualisasi dari web aplikasi SOLARGIS diatas didapat nilai produksi listrik dari PV setiap bulannya (kWh/ kWp).

Site: Sumatera Utara, Indonesia, lat/ion:

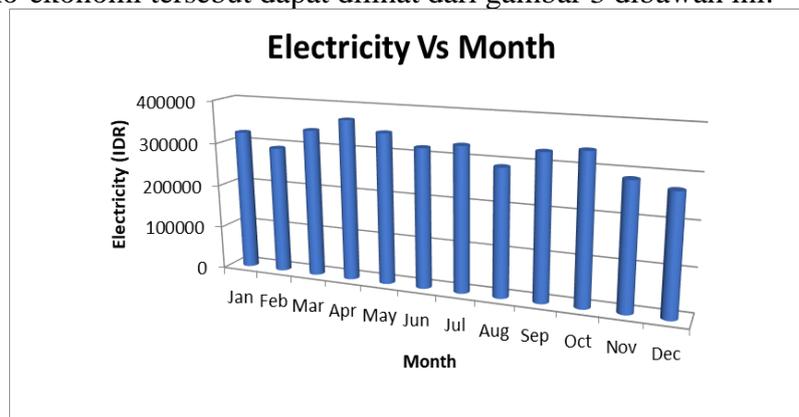
3.56534541055°/98.6568160914°

PV system: 2.0 kWp, crystalline silicon, fixed free, azim. 180° (south), inclination 2°

Tabel 2. Visualisasi Web Aplikasi SOLARGIS

Bulan	Jumlah Produksi listrik bulanan(kWh/kWp)	Jumlah Produksi Listrik/kWh	Nilai listrik (IDR)
Jan	110.5	221	324269
Feb	99.7	199.4	292576
Mar	115.8	231.6	339822
Apr	125.7	251.4	368874
May	117.8	235.6	345691
Jun	108.6	217.2	318693
Jul	112.5	225	330138
Aug	98.9	197.8	290228
Sep	112.3	224.6	329551
Oct	115.4	230.8	338648
Nov	97.5	195	286120
Dec	92.4	184.8	271153
	1251.6	2503.2	3,835,763

Sehingga dari data produksi listrik dari PV setiap bulannya (kWh/ kWp) yang diperoleh akan didapat nilai analisis tekno-ekonomi dari pemasangan atap surya di kota Medan, Indonesia. Hasil analisis tekno-ekonomi tersebut dapat dilihat dari gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. Grafik Nilai Uang terhadap produksi listrik yang dihasilkan oleh PV.

Berdasarkan Gambar 3. diatas menjelaskan bahwa total nilai uang listrik tahunan yang didapatkan dari setiap bulannya produksi listrik oleh sistem PV 2.0 kW untuk kota Medan adalah sebesar Rp **Rp 3.835.763**.

4. Kesimpulan

Dengan analisis tekno-ekonomi dari sistem PV yang dipasang di kota Medan, Indonesia dengan menggunakan web aplikasi SOLARGIS didapat kesimpulan:

1. Analisis ekonomi terhadap hasil visualisasi daya yang dihasilkan oleh PV sistem yang dilakukan selama 1 tahun di dapat total nilai uang listrik sebesar **Rp 3.835.763** untuk kota Medan.
2. Dengan biaya investasi pemasangan solar panel atap surya 2.0 kW sebesar **Rp 37.382.956** dibandingkan dengan total nilai uang listrik tahunan yang didapat sebesar **Rp 3.835.763** diperoleh kesimpulan bahwa modal untuk biaya investasi pemasangan solar panel atap surya 2.0 kW dapat kembali kurang lebih setelah 11 tahun pemakaian solar panel tersebut.

Referensi

- [1] Nasional, Dewan Energi. (2014). *Outlook Energi Indonesia.2014*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, RI
- [2] Li.Chong, Z.Dequn, Z.Yuan.2018. *Techno-economic comparative study of grid-connected PV power systems in five climate zones, China*. Energy S0360-5442,32052-8.
- [3] A. Ihsan, S. GM, U. Tania.2018. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **83**,18-32.
- [4] K. N. Manoj, K. Sudhakar, S. Mahendran.2017. *International Journal of Ambient Energy*, 2162-8246.
- [5] S. Piyush, B. Haranath, Y. Pradeep.2016. *International Confrence on Power Systems* 16358708.ISBN:978-1-5090-0128-6.
- [6] S. Nemanja, K. Vladimir, M. Dragan, D. Boris, K. Nenad.2017. International Symposium POWER ELECTRONICS,19-21.
- [7] G. Yousef, A. Mohammed.2017. *International Mechanical Engineering Congress and Exposition IMECE2017*,Vol.6. ISBN: 978-0-7918-5841-7.
- [8] I. Imad and H. Fadia. 2019. *International Journal of Energy Economics and Policy*, **9(3)**,291-300.
- [9] A. Meheub.2017. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*.Vol.7. ISSN: 2277 128X
- [10] U. Kotub, G. Rebecca , R. Jonathan, M. James, J. Paul.2017.*Applied Energy* **206**,12-21.
- [11] L. Amin, S. Peter, L. Jochen.2017. *Energy Procedia* **105**. 4312 – 4320
- [12] Adaramola MS, Paul SS, Oyedepo SO. Assessment of electricity generation and energy cost of wind energy conversion systems in north-central Nigeria. *Energy Convers Manage* 2011;52:3363–8.
- [13] Hearps P, McConell D. *Renewable energy technology cost review*. Technical Paper Series. Melbourne Energy Institute; March 2011.
- [14] Adaramola. M.S.2015. *Energy Conversion and Management* **101**, 85-93.