

Analisis dan Simulasi Penerapan *Photovoltaic Grid Tied* pada Sistem *Smart Grid*

Ratih Puspita Siwi¹, Lista Litta¹, dan Ayu Annisa Akbar¹

¹Universitas Teknologi Sulawesi, Makassar, Indonesia

Email: ratihpuspitaswi@gmail.com, listalitta91@gmail.com, aiiuu.nhiza@gmail.com

Info Artikel

Diterima: 7 Januari 2023

Disetujui: 20 Februari 2023

Dipublikasikan: 28 Februari 2023

Alamat Korespondensi:

ratihpuspitaswi@gmail.com

Copyright © 2023 Jurnal
Engineering

This work is licensed under the
Creative Commons Attribution
International License (CC BY
4.0).

Abstrak

Perkembangan sistem ketenagalistrikan semakin pesat sejalan dengan pengembangan energi baru terbarukan. *Intermittent* menjadi masalah utama pembangkit listrik terbarukan, sehingga penggunaan baterai menjadi solusi. Namun hal ini justru menghasilkan limbah bahan beracun dan berbahaya sehingga tujuan untuk menciptakan energi bersih tidak dapat tercapai. Pengembangan *photovoltaic* (PV) dengan sistem *grid tied* dapat menjadi solusi dari masalah tersebut. Manfaat dari penggunaan PV dengan sistem *grid tied* adalah konsumen dapat menyuplai daya di kondisi daya berlebih dan digantikan pada malam hari sehingga ada pemotongan dari pembayaran listrik setiap bulannya. Dengan begitu, teknologi penyimpanan tidak lagi digunakan pada sistem ini dan terjadi dampak positif dari sisi ekonomi pada konsumen. Penelitian ini menganalisis alirandaya sebelum dan sesudah penggunaan PV pada beban *home area network* dan menghitung dampak ekonomi pada konsumen setelah menyuplai listrik pada *grid* utiliti.

Kata Kunci: *Smart Grid, Grid Tied, Photovoltaic*

Abstract

The development of the electric power system has developed rapidly in line with the development of renewable energy. *Intermittent* is the main problem for renewable power plants, and using the batteries is a solution. But the problem that arises from the use of storage systems is the waste of toxic and hazardous materials, so that the goal of creating clean energy cannot be achieved. The development of *photovoltaic* with a *grid tied* system can be the solution of these problems. The benefit of using PV with a *grid tied* system is that consumers can supply power in excess power conditions and it is replaced at night giving a deduction from the monthly electricity payment. So that storage technology is no longer used in this system and there is a positive economic impact on consumers. This study will analyze the power flow before and after using PV on the *home area network* and calculate the economic impact on consumers after supplying electricity to the utility grid.

Keywords: *Smart Grid, Grid Tied, Photovoltaic*

1. Pendahuluan

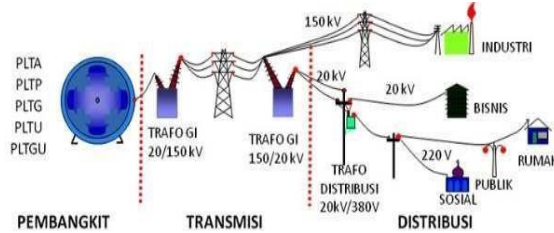
Indonesia memiliki potensi besar dalam pengembangan energi baru terbarukan. Sesuai kebijakan pemerintah bahwa pembangunan pembangkit energi baru terbarukan mencapai 17% di Indonesia pada tahun 2025 dan teknologi komponen kendaraan listrik minimum 80% pada 2026 untuk kendaraan roda dua dan 2030 untuk roda empat. Indonesia memiliki potensi besar pada pemanfaatan energi surya, sekitar 5.000 triliun kWh energi per tahun dengan sebagian besar menerima 4,8-7 kWh/m² setiap harinya. Namun, pengembangan ketidakpastian dan intermiten masih melekat pada unit pembangkit listrik terbarukan, memberikan tekanan besar pada sistem tenaga listrik. Selain masalah sebelumnya, penggunaan energi dimana pergeseran perilaku konsumen dalam penggunaan energi secara efektif sangat minim (Dae man han dkk, 2010).

Pengembangan *photovoltaic* yang terhubung dengan konsumen terbagi atas dua macam, yaitu: 1. Pengembangan *photovoltaic* oleh pihak *utility* dimana proyek energi surya terpusat dengan skala besar MW. 2. Pengembangan yang didorong langsung oleh konsumen listrik dilokasi mereka sendiri (biasa dimasing-masing rumah). Hal ini berkembang seiring dengan manfaat segi ekonomi yang dirasakan oleh konsumen ketika mengembangkan sistem pembangkit desentralisasi. Setiap bangunan baik rumah, Industri, lembaga atau perusahaan komersial dapat menghasilkan energi listrik dengan memasang PV di atap. Namun, seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa kekurangan dari pembangkit listrik terbarukan adalah intermiten sehingga dibutuhkan penambahan energi *storage system* (ESS). Sehingga masalah yang muncul adalah biaya investasi yang sangat besar sehingga konsumen dan beberapa perkantoran tidak dapat menerapkan sistem PV. Pada penelitian ini akan menggambarkan metode manajemen yang efektif sehingga penerapan *photovoltaic* dapat lebih efektif tanpa penggunaan energi *storage system* (ESS) dan memberikan dampak pada sistem distribusi dan perekonomian konsumen. Selain itu, penelitian ini akan memperlihatkan simulasi dari metode yang akan dijelaskan pada aplikasi *ETAP Power Station 16*, sehingga analisis rugi-rugi pada aliran daya dapat terlihat dan dianalisis. Pada desain ini, arsitektur terdiri 2 kelompok yaitu kelompok A yang terdiri dari Panel PV, Inverter, Smart meter dan beban rumahan seperti yang terlihat pada gambar 1 (Syaeq Muqshit dkk, 2017).

Sedangkan kelompok B terdiri dari pembangkit sentralisasi/utility, beban perkantoran dan jaringan distribusi seperti pada gambar 2. Ketika energi *storage system* (ESS) tidak termasuk, dampak biaya pada seluruh sistem berkurang dari 40% hingga 50%. Sehingga sejak sistem terhubung dengan jaringan pada simulasi, sistem penyimpanan telah dihilangkan untuk manfaat ekonomis dari pengurangan biaya sistem pada implementasi sebenarnya.



Gambar 1. Ilustrasi arsitektur pemanfaatan Photovoltaic untuk beban rumahan



Gambar 2. Sistem ketenagalistrikan

Pada dasarnya *photovoltaic* adalah teknologi yang menghasilkan daya listrik arus searah (DC) yang dihasilkan ketika semikonduktor disinari foton dan dikur dalam satuan watt (W) atau kilowatt (kW). Pada simulasi, Sistem PV dipasang di atap rumah dengan asumsi setiap area memiliki kapasitas terpasang 30 kW dengan jumlah 273 modul pW6-110. Pada simulasi dengan menggunakan ETAP 16, digambarkan 7 area dengan asumsi kapasitas *photovoltaic* sama sehingga total kapasitas terpasang pada sistem adalah 210 kW dengan asumsi kinerja PV adalah 100% pada kondisi radiasi. Sedangkan efisiensi inverter sendiri diasumsikan 100% sehingga dapat dihitung dengan jelas efisiensi daya terpakai pada saat siang hari.



Gambar 3. Modul PV PW6-110

Smart meter adalah salah satu perangkat paling penting yang digunakan dalam sistem jaringan dua arah atau sering disebut *smart grid*. *Grid* adalah sistem listrik yang terdiri dari pembangkit listrik, transmisi, distribusi, dan beban. Perangkat elektronik yang mengukur konsumsi/penjualan dan sebagai gerbang tukar informasi antara pengguna dan pemasok. *Smart Meter* juga dapat membuka jalan untuk kontrol beban dan pengukuran pada saat konsumen melakukan penjualan listrik secara independen. Peran dari *smart meter*

untuk mengukur aliran daya, dimana konsumsi dan penjualan dapat terukur pada *smart meter*. Selanjutnya, tempat berkumpulnya informasi seperti alat rumah tangga, harga listrik secara *real time* dan fungsi selanjutnya adalah sebagai pengaman ketika terjadi gangguan. Sedangkan manfaat khusus untuk konsumen adalah menunjukkan data pelanggan tentang kebiasaan penggunaan listrik mereka, memberi pelanggan tagihan listrik yang lebih akurat dan tepat waktu, membantu pelanggan untuk menggunakan peralatan listrik dengan lebih baik selama beban puncak, memfasilitasi pelanggan untuk mengganti/ menunda penggunaan peralatan listrik mereka dengan konsumsi yang signifikan ke jam yang lebih murah.

2. Metode Penelitian

a) Jenis Penelitian

Penelitian eksperimental yang bersifat analisis dan simulasi dari ruang lingkup masalah dapat dilakukan dengan metode studi pustaka dan menggunakan pendekatan kualitatif yang bersifat deskriptif dan cenderung menggunakan analisis yang lebih dalam perhitungan dan pengelolaan data.

b) Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium jurusan teknik elektro Universitas Teknologi Sulawesi Kota Makassar di mulai dari bulan Oktober 2022 sampai dengan Desember 2022.

c) Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini, tahapan yang dilakukan yaitu:

1. Studi literatur dengan mencari referensi-referensi yang mendukung dalam penelitian ini, seperti buku, jurnal nasional dan internasional, informasi dan website dan makalah.
2. Pengumpulan data seperti data beban.
3. Melakukan studi penelitian terkait dengan menggunakan aliran daya.
4. Menganalisis menggunakan aliran daya
5. Setelah menganalisis, didapatkan hasil efisiensi dari sisi ekonomi
6. Penyusunan laporan hasil penelitian.

d) Data, Instrumen, dan Teknik Pengumpulan Data

Jenis dan sumber data dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder. Adapun data primer dalam penelitian ini antara lain ialah data hasil wawancara dengan responden/ informan penelitian serta data hasil observasi yang peneliti lakukan. Kemudian untuk data sekunder, pengumpulan data dilakukan dengan cara triangulasi. Triangulasi menurut Sugiyono (2014;241) diartikan sebagai teknik pengumpulan data yang bersifat menggabungkan dari berbagai teknik pengumpulan data dan sumber data yang telah ada.

Sesuai dengan konsep penelitian ini, maka pengumpulan data dalam penelitian menggunakan teknik wawancara mendalam (*in-depth interview*) dan dokumentasi. Adapun wawancara mendalam yang dilakukan pada penelitian ini yaitu peneliti melakukan tanya-jawab langsung dengan responden/ informan penelitian agar memperoleh data dan informasi yang dibutuhkan. Studi dokumentasi yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain mengumpulkan data berupa peraturan perundang-undangan, profil instansi, dan data lain yang dianggap relevan dan mendukung analisis.

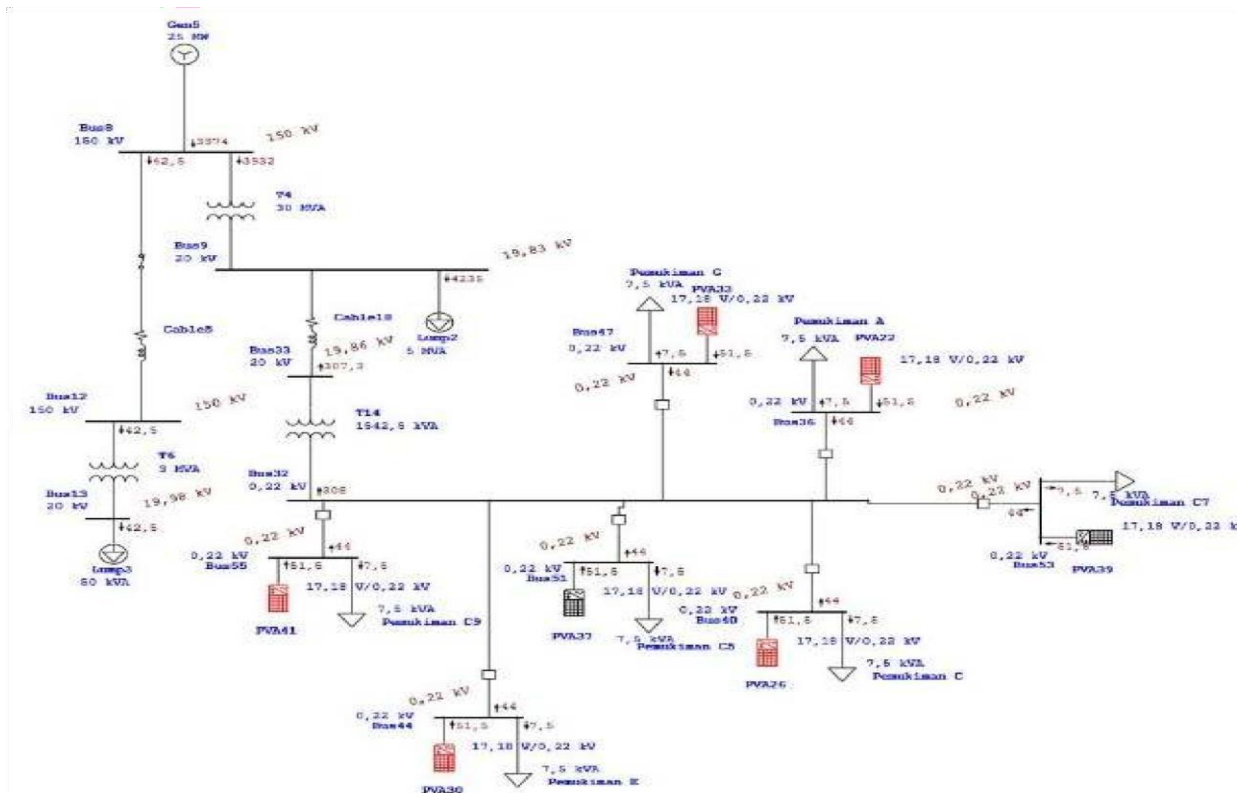
e) Teknik Analisis Data

saat siang hari yang dimana berbeda dengan beban rumah yang maksimal ketika malam hari atau waktu beban puncak (WBP).

3. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Aliran Daya

Simulasi penelitian ini menggunakan aplikasi *ETAP power station 16* dengan menggambar skenario umum pada sistem kelistrikan yang ada, seperti pembangkit, transmisi, distribusi dan beban akhir. Dapat terlihat padagambar 4. dimana kondisi jaringan tanpa interkoneksi dengan *photovoltaic* dengan asumsi beban area perumahan 30 kWh dan perkantoran 2 MVA (Malam hari).



Gambar 4. Aliran daya dengan tambahan photovoltaic

Sedangkan waktu luar beban puncak (siang hari) 7,5 kWh untuk beban rumah dan 5 MVA untuk beban kantor. Setelah melakukan simulasi dengan kondisi tanpa menggunakan sistem *photovoltaic*, jumlah daya yang terpakai pada *home area network* (HAN) dan *building area network* adalah 2191 kW pada waktu LWB. Adapun rugi-rugi yang terjadi pada rangkaian sebesar 1,2 kW yang masing terjadi pada trafo distribusi 20 kV ke 220 V sebesar 0,5 kW, dan area transmisi 0,6 di trafo 150 kV ke 20 kV. Sehingga rugi rugi tidak lebih dari 2% dan berdasarkan SPLN No72 tahun 1987, dimana standar jatuh tegangan dan rugi daya yang diijinkan dalam jaringan distribusi 20 kV adalah 5% dan 10%. Sedangkan pada kondisi siang hari, beban *home area network* (HAN) berkurang dengan asumsi masing-masing area 7,5 kWh dan *building area network* (BAN) sebesar 5 MW sehingga akumulasi dari kedua area tersebut adalah 5082 kW dengan rugi-rugi daya 3,5 kW pada trafo 150/20 kV.

Tabel 2. Jenis beban

Jenis	LWB	LWBP
HAN	30 kW/Area	7,5 kW/Area
BAN	2 MVA	5 MVA

Pada simulasi kedua akan ditambahkan PV dengan sistem *grid tied* dimana daya yang dihasilkan pada *photovoltaic* dapat disalurkan pada jaringan utiliti. Sesuai dengan penjelasan sebelumnya bahwa simulasi yang dilakukan tanpa menggunakan *battery* sehingga pada kondisi malam hari *photovoltaic* tidak berfungsi. Pada kondisi ini masing-masing panel setiap area diasumsikan mampu menghasilkan daya 48,2 kWh dan daya tersalurkan ke beban *home area network* (HAN) sebesar 7,5 kWh dikondisi siang hari. Sehingga daya yang dapat disalurkan ke jaringan utiliti sebesar 285 kWh dari 7 panel. Kondisi ini berdampak berkurangnya daya yang dihasilkan pada pembangkit utama yang awalnya 5082 kWh menjadi 3962 kWh untuk 2 area yang sama, yaitu pada simulasi ada dan tidaknya *photovoltaic*. Sedangkan untuk rugi-rugi yang terjadi meningkat yang sebelumnya hanya 3,5 kW menjadi 4,2 kW tapi masih batas toleransi SPLN no 72 tahun 1987. Pada simulasi terdapat efisiensi dalam penggunaan *photovoltaic* dimana terdapat selisih penggunaan daya dari pembangkit utama sebesar 1120 kWh pada siang hari.

Dampak Ekonomi

Pada sistem *rooftop* dengan penerapan *smart grid*, maka memungkinkan konsumen menjadi prosumer. Dimana prosumer adalah kelompok yang menerima sekaligus menyalurkan listrik di waktu tertentu. Pada penelitian ini, beban rumah-rumah dapat menyuplai listrik pada saat daya yang dihasilkan oleh *photovoltaic* terjadi surplus. Hal tersebut karena waktu siang hari, beban rumah sangat kecil berbeda pada saat kondisi malam atau beban puncak. Sebaliknya, beban kantor mengkonsumsi daya besar pada saat siang hari dan kecil pada malam hari atau jam beban puncak.

Dari dua penjelasan tersebut maka penerapan *photovoltaic* dengan sistem *grid tied* dapat dilakukan. Setelah melakukan studi aliran daya, selanjutnya analisis dampak ekonomi yang terjadi pada sektor masyarakat yang menjadi pelaku beban rumah atau *home area network*.

Biaya Analisis Utiliti

Jika diasumsikan bahwa konsumsi listrik setiap area rumah tangga adalah 30 kW per area didasarkan pada penggunaan peralatan listrik yang digunakan sehari-hari, total konsumsi energi per bulan adalah sebagai berikut.

Tabel 3. Penggunaan daya/hari

No	Nama	Daya	Waktu	Daya/bulan	Ket
1	Kondisi1	30 kW	6 jam	5.600 kWh	16.00–20.00
2	Kondisi2	7,5kW	8 jam	1.800 kWh	08.00–16.00
3	Kondisi3	15 kW	10 jam	4.500 kWh	20.00- 08.00

Berdasarkan konsumsi energi listrik untuk setiap area rumah tinggal per bulan dari tabel 3, didapatkan rata-rata tagihan listrik 17.457.300/bulan disetiap area dengan harga listrik 1.467,28/kWh.

Energi Yang Dihasilkan PV panel

Nilai daya nominal modul PW6-110 sebesar 110 W, dan nilai radiasi matahari kondisi dengan asumsi normal (kinerja 100%) adalah 25,5 kWh/hari.

$$(E_{\text{modul}}) = P_{\text{nom}} \times T_{\text{nom}} = 110 \times 8 = 880 \text{ Wh/hari}$$

Untuk menghasilkan energi 25,5 kW dibutuhkan sejumlah panel dalam 1 area sebanyak 29 panel, yang dihitung dalam persamaan:

$$E_{\text{modul}} = 29 \times 880 = 25.520 \text{ Wh/hari}$$

Dengan asumsi inverter tidak bekerja 100% maka, daya yang dihasilkan 25,5 kW. Dari penjelasan tersebut maka didapatkan dampak ekonomi yang dihasilkan ketika menggunakan PV.

Tabel 4. Kondisi pada waktu 08.00-16.00

Daya PV	Daya terpakai	Daya berlebih
25,5 kWh	7,5 kWh	18 kWh

Pada kondisi PV digunakan terjadi penggunaan 7,5 kWh selama 8 jam yang berdampak berkurangnya biaya listrik utiliti sebesar 88.036,8/hari atau 2.641.104/bulan.

Pada penjelasan sebelumnya bahwa *grid tied* adalah kondisi pembangkit desentralisasi yang terhubung dengan jaringan listrik utama atau *grid* utiliti. Selanjutnya, terjadi daya berlebih pada jam 08.00 hingga 16.00 sebesar 18 kWh. Sistem *grid tied* memungkinkan daya berlebih tersebut disalurkan ke beban perkantoran atau *building area network*, dimana pada jam yang sama memerlukan daya lebih. Sehingga konsumen beban rumah mendapatkan potongan biaya yang per bulannya. Sehingga potongan yang didapatkan sebesar 211.288,32/hari atau 6.338.649,6. Dari hasil tersebut diperoleh rata-rata yang harus dibayar per bulan sebesar 8.447.546,4 dengan penggunaan PV dan sistem *grid tied*.

Kesimpulan

Dari percobaan dan perhitungan di atas, dapat disimpulkan bahwa penggunaan Panel PV di rumah hunian sangat layak. Penelitian ini memperlihatkan efisiensi sisi ekonomi pada sistem distribusi yang lebih baik. Selain itu, konsumen lebih terlibat pada sistem ketenagalistrikan sehingga peran konsumen untuk menyeimbangkan produksi dan penggunaan listrik lebih baik. Penerapan sistem PV *grid tied*, menyelesaikan masalah dimana pada siang hari terjadi kelebihan daya pada rumah-rumah yang memasang PV tanpa menggunakan *battery*. Sehingga penggunaan PV lebih efektif untuk beban rumahan, selain itu konsumen dapat menyuplai daya pada beban kantor pada siang hari.

Adapun saran lanjutan atas penelitian ini adalah analisis ekonomi pada investasi awal hingga pemeliharaan dan melihat efektifitas lama penggunaan. kedua adalah analisis harmonisasi pada aliran daya.

Daftar Pustaka

- [1] Dae-Man Han, Jae-Hyun Lim. Smart Home Energi Management System Using IEEE 802.15.4 And Zigbee. *IEEE: Transactions On Consumer Electronics (Issue 3)* 2010:56:14031410.
- [2] Yang Chen, Hervé Guéguen, Xiuliwang. Managing Flexibility of Power Consumption Of Smart Buildings On Microgrid. *IFAC-Papersonline (Issue 4)* 2019:52:383-388.
- [3] Paul G. Ranky. 2012. "Sustainable Energi Management And Quality Process ModelsBased On ISO 50001:2011 The International Energi Management Standard". 2012 IEEE: International Symposium On Sustainable Systems And Technology (ISSST).
- [4] Imane Worighi, Joeri Van Mierlo, AbdelilahMaach, Abdelhakim Hafid, Omar Hegazy. Integrating Renewable Energi In Smart GridSystem: Architecture, Virtualization AndAnalysis. *Sustainable Energi, Grids AndNetworks* 2019:18:100226.
- [5] Marc Beaudin, Hamidreza Zareipour. Home Energi Management Systems: A Review OfModelling And Complexity. *Renewable And Sustainable Energi Reviews* 2015:45:318-335.
- [6] K. Balasubramanian, A. Cellatoglu. Improvements In Home Automation StrategiesFor Designing Apparatus For Efficient Smart Home. *IEEE Transactions On Consumer Electronics (Issue 4)* 2008:54:1681-1687.
- [7] Menglian Zheng, Christoph J. Meinrenken, Klaus S. Lackner. Smart Households: DispatchStrategies And Economic Analysis Of Distributed Energi Storage For Residential PeakShaving. *Applied Energi* 2015:147:246-257.
- [8] Vítor António Da Silva Gonçalves, Feliz José Mil-Homens Dos Santos. Energi Management System ISO 50001:2011 And Energi Management For Sustainable Development. 2019:133:110868.
- [9] A. R. Al-Ali, A. H. El-Hag, R. Dhaouadi, A.Zainaldain. Smart Home Gateway For Smart Grid. 2011 IEEE: 2011 International ConferenceOn Innovations In Information Technology.
- [10] C.M. Lin, M.T. Chen. Design AndImplementation Of A Smart Home Energi Saving System With Active Loading Feature Identification And Power Management. 2017 IEEE: 2017 IEEE 3rd International Future EnergiElectronics Conference And ECCE Asia (IFEEC2017 - ECCE Asia).
- [11] Syed Muqsit Shaheed, Muhammad Saad BinIlyas, Javed Anjum Sheikh, Jinesh Ahamed.Effective Smart Home System Based On Flexible Cost In Pakistan. 2017 IEEE: 2017 Fourth HCT Information Technology Trends (ITT).
- [12] Soo Wan Yen, Stella Morris, Morris A.G. Ezra,Tang Jun Huat. Effect Of Smart Meter Data Collection Frequency In An Early Detection Of Shorter-Duration Voltage Anomalies In Smart Grids. *International Journal Of Electrical Power& Energi Systems* 2019:109:1-9.
- [13] Chendan L, Tomislav Dragicevic, Nelson L. Diaz, Juan C. Vasquez, and Josep M. Guerrero. Voltage Scheduling Droop Control forStateofCharge Balance of Distributed Energy Storage in DC Microgrids. 2014
- [14] Umar Ahsan, Abdul Bais. Distributed SmartHome Architecture For Data Handling In Smart Grid. *IEEE: Canadian Journal of Electrical AndComputer Engineering* 2018:41:17-27

- [15] K.J. Chua, W.M. Yang, T.Z. Wong, C.A.HoIntegrating. Renewable Energi Technologies To Support Building Trigeneration-AMultiCriteria Analysis. *Renewable Energi*2012:41:358-367
- [16] Dae-Man Han, Jae-Hyun Lim. Design And Implementation of Smart Home Energi Management Systems Based On Zigbee. *IEEE: Transactions On Consumer Electronics*2010:56:1417-1425.
- [17] Ankit Kumar. Beyond Technical SmartnessRethinking The Development And Implementation of Sociotechnical Smart Grids InIndia. *Energi Research & Social Science* 2019:49:158-168.
- [18] Mingqiang Wang, Hoay Beng Gooi, Shuaixun Chen, Shaofeng Lu. Dynamic optimal power flow mempertimbangkan valve-point effect menggunakan Modified honey bee mating optimisation. 2014.
- [19] T.R. Ayodele,, A.S.O. Ogunjuyigbe, O. Odigie, J.L. A multi-criteria GIS based model for wind farm site selection using interval type-2 fuzzy analytic hierarchy process: The case study of Nigeria. 2014.