

KETERSEDIAAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK BERBASIKAN TENAGA SURYA DI KOTA PEKANBARU

Dian Yayan Sukma¹ dan Iswadi Hasyim Rosma¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Bina Widya-Panam
Jl. HR Soebrantas kM 12.5, Pekanbaru, 28293, Indonesia

E-mail: *dianyayan.sukma@eng.unri.ac.id*

ABSTRAK

Energi surya sangat murah untuk didapatkan, tetapi besarnya berfluktuasi setiap saat dan berbeda di setiap wilayah. Pemanfaatan potensi energi terbarukan ini dalam menghasilkan energi listrik diprioritaskan untuk daerah terisolasi atau ditempatkan pada sistem distribusi (generator terdistribusi) yang secara langsung melayani kebutuhan beban. Durasi pembangkit listrik tenaga surya dalam menyediakan energi listrik di grid adalah tidak tetap dan berubah setiap saat. Hal ini disebabkan oleh perubahan potensi cuaca (radiasi matahari) dan pemilihan teknologi yang diterapkan. Ketersediaan sistem generator dengan pola operasi PLTS yang berdiri sendiri diperoleh 44,3% untuk area Panam dan 28,6% untuk area Sudirman. Secara keseluruhan, ketersediaan rata-rata sistem pembangkit tenaga surya (PLTS) untuk kota Pekanbaru adalah 36,45%.

Kata Kunci: *PLTS, Energi Surya, photovoltaic, Pengatur Tegangan, Ketersediaan.*

ABSTRACT

Solar energy is very cheap to obtain, but the magnitude fluctuates at any time and different each region. The utilization of this renewable energy potential in generating electrical energy is prioritized for isolated areas or placed on the distribution system (distributed generator) that directly serve the load requirements. The duration of solar based power generation is in providing electrical energy on the grid is not fixed and change at any time. This is due to the changing weather potential (solar radiation) and the selection of applied technologies. The availability of generator system with stand-alone PLTS operating pattern was obtained at 44.3% for Panam area and 28.6% for Sudirman area. Overall, the average availability of solar power generation system (PLTS) for the Pekanbaru city is 36.45%.

Keywords: PLTS, Solar energy, photovoltaic, voltage regulator, availability.

PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan bentuk energi akhir yang sangat vital peranannya dalam menopang dan mengembangkan perekonomian nasional. Berbagai upaya yang dilakukan dalam meningkatkan kesejahteraan ekonomi menyebabkan permintaan energi listrik meningkat dengan tajam dan merupakan kebutuhan yang mendesak.

Kecenderungan beban listrik yang terus meningkat ini, mempengaruhi kontinuitas pelayanan pada sistem kelistrikan. Hingga saat

ini sistem kelistrikan wilayah Riau baru mampu menjangkau 60% daerahnya melalui 8 gardu induk. Dengan rasio elektrifikasi rata-rata 70,56%, masih banyak wilayah Riau khususnya daerah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik. Wilayah Riau memikul beban puncak sebesar 549 MW dengan daya mampu pembangkit yang tersedia sebesar 486 MW, atau defisit sebesar 63 MW. Pembangkit energi listrik yang beroperasi saat ini mengandalkan tenaga yang bersumber dari hidro dan fosil, meliputi: air (23%), minyak

solar (1%), batubara dan gas (76%) (Pemprov Riau, 2015).

Upaya mengurangi defisit energi listrik dilakukan dengan meningkatkan kapasitas pembangkit energi listrik dengan menambah jumlah unit-unit pembangkit energi listrik baru. Namun energi listrik yang bersumber dari fosil cenderung mengalami penurunan dan terkait dengan isu ramah lingkungan. Beberapa kurun waktu terakhir ini, Pemerintah berupaya mengembangkan energi listrik dari sumber energi baru dan terbarukan (EBT) yang murah dan ramah lingkungan serta mampu menjangkau sampai ke pelosok daerah.

Sumber energi listrik yang sesuai dengan isu ini salah satunya adalah memanfaatkan surya. Surya merupakan potensi energi yang bersumber dari matahari sangat murah dan mudah didapatkan khususnya pada daerah khatulistiwa dengan memanfaatkan sinar radiasinya. Pemanfaatan pembangkit energi listrik tenaga surya (PLTS) banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik daerah pelosok dan daerah terisolasi. Sebagian digunakan juga sebagai pembangkit energi listrik pada daerah distribusi (*Distributed Generator*) untuk melayani kebutuhan beban secara langsung.

Namun, besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS ini bervariasi setiap saat dan setiap tempat. Hal ini sangat dipengaruhi oleh faktor cuaca dan musim yang berubah setiap saat serta penggunaan teknologi untuk mengubah energi tersebut menjadi energi listrik. Dalam jangka pendek, PLTS dalam menyediakan energi listrik ke jaringan adalah untuk menopang sistem pembangkit listrik yang sudah ada, belum untuk menggantikannya. Untuk pemanfaatan lebih jauh, perlu dilakukan analisa ketersediaan sistem pembangkit listrik berbasis tenaga surya di Kota Pekanbaru.

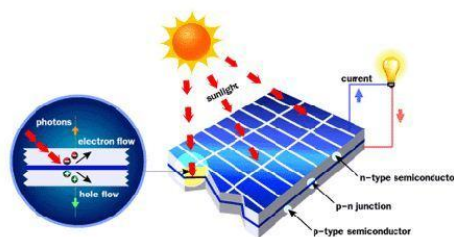
Energi matahari dijalkan ke permukaan dan diradiasikan ke dalam ruang angkasa. Dalam perjalanannya ke permukaan, 30% energi matahari akan direfleksikan dan disebar kembali ke angkasa, memberikan bumi dan atmosfer albedo sekitar 30%, sementara itu sebanyak 19% diabsorpsi oleh atmosfer dan

awan serta 51% diabsorpsi oleh permukaan (Ahrens, 2003).

Posisi matahari dan kedudukan wilayah dipermukaan bumi memberikan pengaruh nyata terhadap potensi energi surya pada suatu wilayah. Potensi ini akan berubah tiap waktu, tergantung dari kondisi atmosfer, dan tempat (garis lintang) serta waktu (hari dalam tahun dan jam dalam hari). Indonesia yang berada dalam wilayah khatulistiwa mempunyai potensi energi surya yang cukup besar sepanjang tahunnya. Secara keseluruhan wilayah Indonesia menerima radiasi matahari yang cukup tinggi rata-rata $12,38 \text{ MJ/m}^2/\text{hari}$. Hal ini dikarenakan posisi matahari yang cenderung tegak lurus terhadap ekuatorial (Setpriadi dkk, 2009).

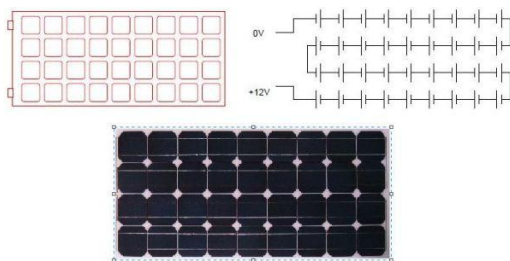
Pembangkit listrik tenaga surya merupakan pembangkit listrik energi terbarukan dengan memanfaatkan tenaga yang berasal dari cahaya matahari. Energi panas dari cahaya matahari dapat diubah langsung menjadi energi listrik dengan menggunakan divais sel surya atau yang lebih dikenal dengan fotovoltaik (*photovoltaic*).

Sel Surya atau sel fotovoltaik berasal dari bahasa Inggris "photovoltaic". mempunyai arti Cahaya-Listrik, dan itu yang dilakukan Sel Surya yaitu merubah energi cahaya menjadi listrik. Apabila suatu bahan semi konduktor seperti bahan silikon disimpan dibawah sinar matahari, maka bahan silikon tersebut akan melepaskan sejumlah kecil listrik yang biasa disebut efek fotolistrik. Efek ini merupakan proses dasar fisis dari fotovoltaik merubah energi cahaya menjadi listrik. Cahaya matahari terdiri atas partikel-partikel yang disebut sebagai "photons" yang mempunyai sejumlah energi yang besarnya tergantung pada panjang gelombang suatu "solar spectrum".



Gambar 1. Ilustrasi cara kerja sel surya dengan prinsip p-n junction (Nelson, 2003).

Dengan energi yang didapat dari photon, electron melepaskan diri dari ikatan normal bahan semi konduktor dan menjadi arus listrik yang mengalir dalam rangkaian listrik yang ada. Dengan melepaskan dari ikatannya, elektron tersebut menyebabkan terbentuknya lubang atau "hole" (Septina, 2014). Ilustrasi kerja ini diberikan oleh Gambar 1. Untuk mendapatkan daya, dan tegangan listrik yang diinginkan, selsurya dihubungkan secara seri dan parallel kemudian dilaminasi dan diberi frame dan disebut Modul Surya seperti Gambar 2. Umumnya modul surya mempunyai sistem tegangan kerja 12 Volt dan 24 Volt, serta mempunyai daya yang bervariasi mulai dari 10 Wp sampai dengan 300 Wp (Nelson, 2003).

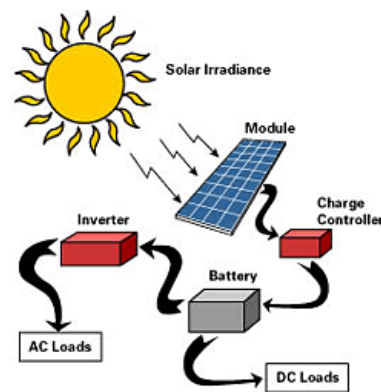


Gambar 2. Modul surya (Nelson, 2003).

Daya listrik yang dihasilkan oleh modul surya ditentukan oleh besarnya radiasi yang sampai pada selsurya. Berdasarkan karakteristik kerjanya tegangan keluaran modul surya berupa tegangan DC cenderung bervariasi karena arusnya yang konstan. Sementara energi listrik yang dihasilkan sebelum digunakan di grid harus diubah menjadi tegangan AC menggunakan inverter. Inverter bekerja membutuhkan tegangan masukan yang stabil. Sehingga tegangan keluaran modul surya distabilkan terlebih dahulu menggunakan regulator tegangan. Untuk tegangan masukan yang bervariasi, baik lebih maupun kurang dari tegangan referensi dapat menggunakan metode buck-boost converter. Ilustrasi kerja PLTS diberikan oleh Gambar 3.

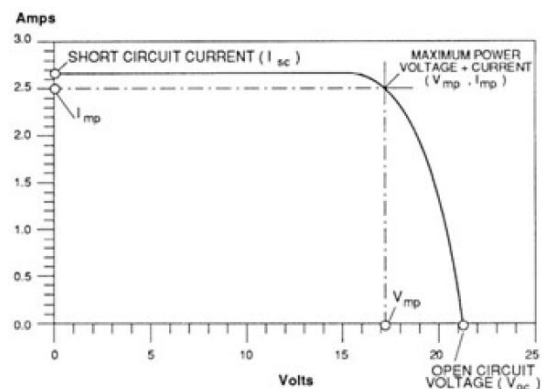
Kinerja modul surya digambarkan dengan karakteristik Kurva I-V, atau kurva Arus Listrik (I) terhadap Tegangan (V) seperti terlihat pada Gambar 4 di bawah ini. Modul surya akan menghasilkan arus listrik maksimum apabila tidak ada komponen Tahanan (R) pada rangkaian, dengan kata lain

kita akan menghubungkan-singkatkan kutub positif dan kutub negatif. Arus maksimum biasa disebut sebagai Arus Hubung Singkat (I_{sc}) yang terjadi pada saat Tegangan Modul Surya sama dengan nol ($V=0$). Sebaliknya, tegangan maksimum dihasilkan pada saat rangkaian tidak terhubung. Tegangan ini disebut sebagai Tegangan Terbuka (V_{oc}), pada kondisi ini tahanan R sangatlah besar dan tidak ada sama sekali arus yang mengalir karena rangkaian listrik tidak terhubung atau dengan kondisi terbuka.



Gambar 3. Sistem PLTS (SCL, 2011).

Seperti terlihat pada Gambar 4, arus hubung singkat (I_{sc}) terjadi pada saat tegangan sama dengan nol, dan tegangan terbuka (V_{oc}) terjadi pada saat arus listrik sama dengan nol. Besaran daya listrik dari modul surya terletak pada semua titik sepanjang kurva dengan satuan Watt. Daya didapatkan dengan cara mengalikan tegangan dan arus listrik ($\text{Watt} = \text{Volt} \times \text{Ampere}$). Pada titik I_{sc} daya yang dihasilkan adalah nol dikarenakan tegangannya sama dengan nol. Demikian pula pada titik V_{oc} daya listrik sama dengan nol dikarenakan arus listrik sama dengan nol.



Gambar 4. Kurva I-V modul surya (BPPT, 2017)

Daya maksimum yang dihasilkan terjadi pada “lutut” kurva. Daya maksimum umumnya disebut dengan daya puncak dengan notasi m_p , jadi arus listrik pada posisi maksimum dituliskan sebagai I_{mp} dan tegangan sebagai V_{mp} . Daya keluaran dari rangkaian panel fotovoltaic (Duffie dkk, 1991, adalah sebagai berikut:

$$P_{PV} = f_{PV} \cdot Y_{PV} \cdot \left(\frac{I_T}{I_S} \right) \quad (1)$$

dimana:

- f_{PV} : faktor daya (efisiensi)
- Y_{PV} : kapasitas rangkaian PV (kW)
- I_T : radiasi surya global yang jatuh pada PV
- I_S : nilai radiasi standar (1 kW/m²)

Potensi cahaya matahari (radiasi infra merah) tersedia di permukaan bumi sangat tergantung dari keadaan cuaca, besarnya tidak sama setiap saat karena keadaan cuaca cenderung berubah-ubah. Lamanya potensi angin memiliki waktu yang lebih lama dibandingkan dengan potensi cahaya matahari. Namun demikian tidak berarti bahwa setiap tersedia kecepatan angin maupun radiasi matahari dapat dibangkitkan dan digunakan menjadi energi yang bermanfaat. Energi yang bermanfaat merupakan energi yang tersedia pada grid oleh pembangkit tenaga listrik. Hal ini dapat dinyatakan sebagai indikasi ketersediaan pembangkit tenaga listrik.

Ketersediaan pembangkit tenaga listrik berdasarkan waktu (*time on based*), merupakan persentase lamanya waktu pembangkit energi listrik yang dapat menyediakan energi listrik ke jaringan (grid) (Cameron, 2015). Ketersediaan pembangkit listrik dinyatakan dengan faktor ketersediaan (*availability factor*), yaitu perbandingan antara lamanya (jam) pembangkit menghasilkan energi listrik terhadap periode lamanya pembangkit tersebut beroperasi (Leonard, 1985). Periode operasi pembangkit ini tidaknya saat menghasilkan energi listrik pada grid namun termasuk juga saat pembangkit beroperasi namun tidak menghasilkan energi yang efektif pada grid (Hunt dkk, 2015).

Secara konseptual dapat dinyatakan bahwa ketersediaan energi listrik berdasarkan waktu merupakan lamanya energi aktual tersedia selama tersedianya potensi energi (Martin, 2012), dinyatakan oleh persamaan berikut:

$$A_T = \frac{T_{operation}}{T_{periode}} \quad (2)$$

$$A_T = \frac{T_{Up}}{T_{Up} + T_{Down}} \quad (3)$$

Dimana:

- A_T : ketersediaan pembangkit tenaga listrik
- $T_{operation}$: lamanya pembangkit beroperasi menghasilkan energi listrik (jam)
- $T_{periode}$: lamanya tersedia potensi energi, (jam)

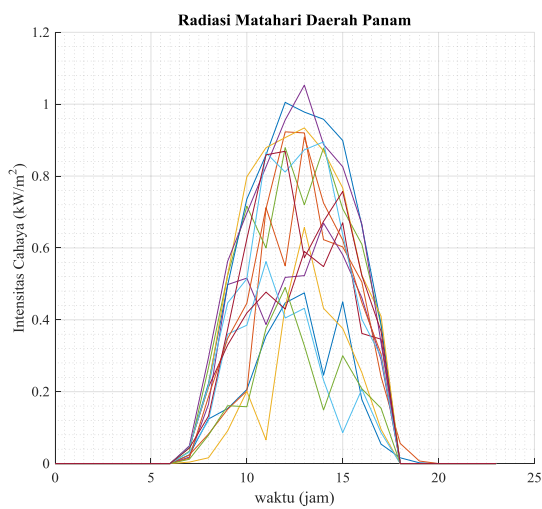
BAHAN DAN METODE

PLTS diprioritaskan untuk daerah yang terisolasi atau langsung ditempatkan di bagian distribusi (*Distributed Generator*) agar dapat langsung melayani beban. Terkait dengan tersebut maka sampel data potensi cuaca diambil pada daerah menjadi pusat beban di daerah Pekanbaru, yaitu daerah Panam dan daerah Sudirman.

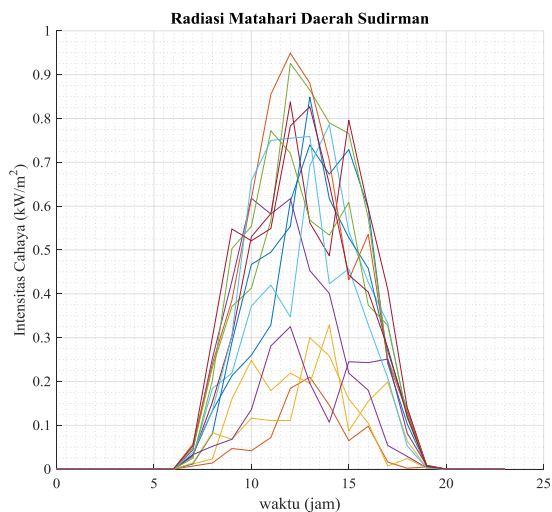
Dalam memodelkan PLTS dibutuhkan data potensi cuaca yang meliputi data radiasi cahaya matahari per jam selama satu bulan. Karakteristik daya photovoltaic (kurva V-I) dan koefisien faktor merupakan data teknis yang dibutuhkan dalam memodelkan PLTS yang diperoleh dari software HOMER dan literatur.

Hasil pengukuran data potensi cuaca berupa radiasi matahari di daerah Pekanbaru dengan menggunakan dua sampel yaitu daerah Panam dan daerah Sudirman secara visual dapat dilihat pada Gambar 5. Data potensi surya ini selanjutnya digunakan untuk menentukan kapasitas PV Array. Dari hasil pengukuran radiasi matahari diperoleh statistik berupa radiasi matahari rata-rata daerah Panam sebesar 434,5 W/m² dengan interval radiasi matahari dari 2 - 1053 W/m². Sedangkan

radiasi matahari rata-rata daerah Sudirman sebesar $314,2 \text{ W/m}^2$ dengan interval radiasi matahari dari $2 - 949 \text{ W/m}^2$. Dari kedua titik sampel data tersebut daerah Panam memiliki radiasi matahari maksimum yang lebih besar dibandingkan dengan daerah Sudirman. Data radiasi matahari untuk kedua titik sampel mampu dibaca oleh alat ukur rata-rata dimulai dari pukul 07.00 sampai dengan pukul 19.00 WIB. Berdasarkan potensi radiasi matahari yang diukur, rata-rata memiliki radiasi matahari sebesar 300 sampai dengan 500 W/m^2 bahkan puncaknya bisa mencapai 1000 W/m^2 .



(a)

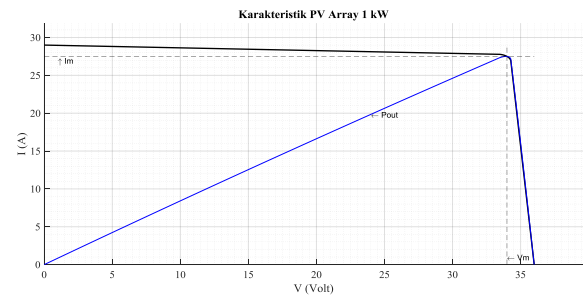


(b)

Gambar 5. Kurva radiasi matahari per-jam: (a) Panam dan (b) Sudirman

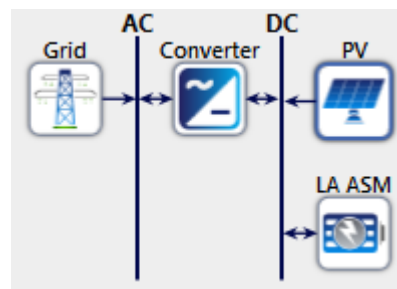
Dalam model ini PLTS dirancang dengan kapasitas 1 kW dan tegangan keluaran 24 Volt DC dengan derating faktor PV 90%, arus

maksimum 27,5 A dan tegangan maksimum 34 V dengan karakteristik PV dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Kurva V-I, PV Array 1 kW

Untuk menstabilkan tegangan keluaran PV digunakan regulator tegangan dengan teknologi buck-boost yang mampu menjaga tegangan keluaran pada nilai nominalnya untuk tegangan masukan mulai dari 15,5 V hingga 34 V.

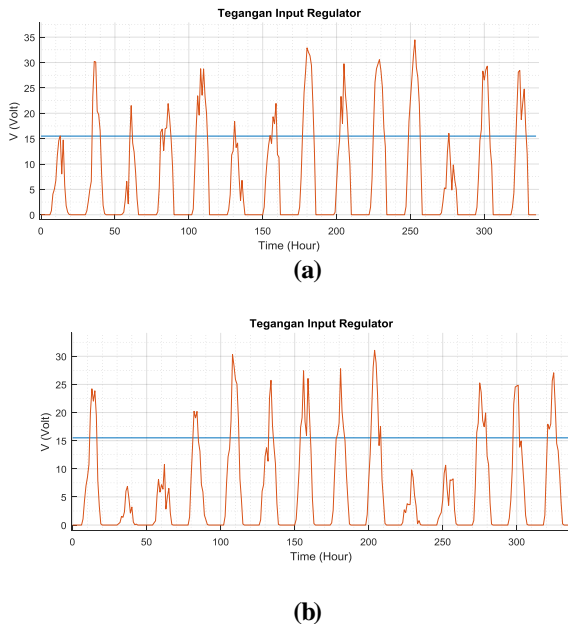


Gambar 7. Model operasi PLTS stand-alone menggunakan HOMER.

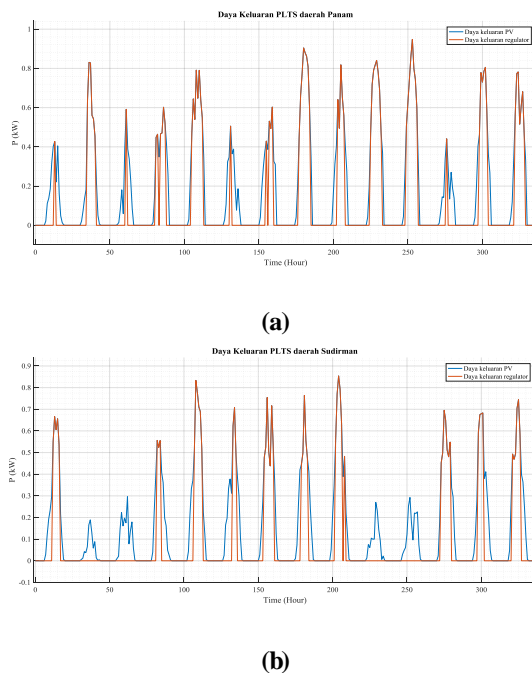
Selanjutnya model disain ini disimulasikan terhubung ke grid seperti pada Gambar 7. Keluaran dari PLTS ini dihasilkan daya DC dapat terhubung langsung ke grid menggunakan DC-AC converter dan memungkinkan energinya dapat disimpan ke baterai. Sistem operasi fotovoltaik dalam menyediakan daya listrik pada grid berdasarkan nilai radiasi matahari setiap jamnya mengikuti persamaan 1. Data radiasi matahari yang bervariasi besarnya menghasilkan tegangan keluaran PV array juga bervariasi. Energi listrik yang mampu disediakan PLTS pada grid dievaluasi pada kemampuan kerja regulator tegangan menghasilkan tegangan keluaran yang stabil pada nilai nominalnya 24 Volt DC. Berdasarkan sistem operasi tersebut ditentukan ketersediaan pembangkit listrik PLTS berdasarkan waktu mengikuti persamaan 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi dari pengolahan data potensi radiasi matahari daerah Pekanbaru menggunakan model PLTS dihasilkan kurva tegangan dan daya keluaran PV seperti pada Gambar 8 dan Gambar 9.



Gambar 8. Kurva tegangan keluaran PV:
 (a) daerah Panam (b) daerah Sudirman.



Gambar 9. Kurva daya keluaran PLTS:
 (a) daerah Panam (b) daerah Sudirman.

Potensi surya pada daerah kota Pekanbaru, menurut pengukuran selama 14 hari rata-rata

dimulai pukul 7.00 WIB hingga pukul 19.00 WIB. Radiasi matahari yang diukur selama 14 hari memiliki nilai tertinggi sebesar 1.035 W/m^2 untuk daerah Panam dan 949 W/m^2 untuk daerah Sudirman atau rata-rata 434,5 W/m^2 untuk daerah Panam dan 314,2 W/m^2 untuk daerah Sudirman. Distribusi radiasi matahari daerah kota Pekanbaru ini terlihat pada Gambar 5.

Dengan memanfaatkan pengukuran potensi surya ini sebagai masukan pada model PLTS, dihasilkan tegangan keluaran regulator dan daya keluaran untuk menyediakan energi listrik pada grid daerah kota Pekanbaru seperti ditunjukkan oleh Gambar 8 dan Gambar 9. Data potensi surya berupa radiasi matahari yang terukur selama 14 hari rata-rata dimulai dari pukul 07.00 WIB hingga pukul 19.00 WIB. Lamanya potensi surya terukur tersebut bervariasi setiap harinya.

Selama pengukuran 14 hari diperoleh lama potensi surya selama 158 jam pada daerah Panam dan 182 jam untuk daerah Sudirman seperti ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Perbedaan lamanya potensi surya ini disebabkan oleh keadaan cuaca (cerah, mendung dan kelembaban) pada hari tersebut.

Tabel 1. Lama potensi surya daerah Panam

Tanggal	Waktu potensi radiasi	Lama potensi radiasi (Jam)
2/7/2017	07.00-20.00	13
3/7/2017	07.00-20.00	13
4/7/2017	07.00-18.00	11
5/7/2017	07.00-18.00	11
6/7/2017	07.00-18.00	11
7/7/2017	07.00-18.00	11
8/7/2017	07.00-18.00	11
9/7/2017	07.00-18.00	11
10/7/2017	07.00-18.00	11
11/7/2017	07.00-18.00	11
12/7/2017	07.00-18.00	11
13/7/2017	07.00-18.00	11
14/7/2017	07.00-18.00	11
15/7/2017	07.00-18.00	11
Total		158

Tabel 2. Lama potensi surya daerah Sudirman

Tanggal	Waktu potensi radiasi	Lama potensi radiasi (Jam)
16/7/2017	07.00-20.00	13
17/7/2017	07.00-20.00	13
18/7/2017	07.00-20.00	13
19/7/2017	07.00-20.00	13
20/7/2017	07.00-20.00	13
21/7/2017	07.00-20.00	13
22/7/2017	07.00-20.00	13
23/7/2017	07.00-20.00	13
24/7/2017	07.00-20.00	13
25/7/2017	07.00-20.00	13
26/7/2017	07.00-20.00	13
27/7/2017	07.00-20.00	13
28/7/2017	07.00-20.00	13
29/7/2017	07.00-20.00	13
Total		182

Berdasarkan tegangan dan daya keluaran dari hasil simulasi dari model PLTS seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8 dan Gambar 9, terlihat bahwa tidak semua potensi surya mampu menghasilkan energi listrik pada grid. Tegangan keluaran yang nilainya di bawah kemampuan tegangan masukan minimum regulator sebesar 15,5 V tidak dihubungkan ke grid.

Pada Tabel 3, menunjukkan sistem pembangkit PLTS daerah Panam beroperasi setiap harinya menghasilkan energi listrik pada grid rata-rata selama 5 jam per harinya. Sedangkan dari tabel 4, menunjukkan bahwa sistem pembangkit PLTS daerah Sudirman tidak beroperasi menghasilkan energi listrik pada grid selama 4 hari. Hal ini disebabkan oleh keadaan cuaca mendung pada saat itu sehingga tegangan keluaran dari PV array berada di bawah tegangan minimum dari regulator.

Dengan demikian dari potensi surya selama 158 jam pada daerah Panam hanya mampu mengasilkan energi pada grid selama 70 jam seperti yang dituliskan pada tabel 3. Dengan menggunakan persamaan 3 diperoleh ketersedia sistem pembangkit listrik berdasarkan tenaga surya (PLTS) pada daerah panam sebesar 44,3%. Untuk daerah Sudirman, dari potensi surya selama 182 jam

hanya mampu menyediakan energi listrik pada grid selama 52 jam seperti yang ditunjukkan pada tabel 4. Secara keseluruhan rata-rata ketersediaan sistem pembangkit berdasarkan tenaga surya (PLTS) untuk daerah kota Pekanbaru didapatkan sebesar 36,45%.

Tabel 3. Lama waktu operasi PLTS daerah Panam

Tanggal	Waktu operasi PLTS	Lama Operasi PLTS (Jam)
2/7/2017	13.00-14.00	1
3/7/2017	07.00-20.00	6
4/7/2017	13.00-14.00	1
5/7/2017	09.00-11.00, 12.00-16.00	6
6/7/2017	09.00-17.00	8
7/7/2017	11.00-12.00	1
8/7/2017	11.00-12.00, 13.00-16.00	4
9/7/2017	09.00-17.00	8
10/7/2017	11.00-16.00	5
11/7/2017	09.00-17.00	8
12/7/2017	09.00-17.00	8
13/7/2017	12.00-13.00	1
14/7/2017	10.00-16.00	6
15/7/2017	10.00-17.00	7
Total		70

Tabel 4. Lama waktu operasi PLTS daerah Sudirman

Tanggal	Waktu operasi PLTS	Lama Operasi PLTS (Jam)
16/7/2017	12.00-17.00	5
17/7/2017	-	0
18/7/2017	-	0
19/7/2017	10.00-13.00	3
20/7/2017	11.00-17.00	6
21/7/2017	13.00-16.00	3
22/7/2017	10.00-17.00	7
23/7/2017	11.00-16.00	5
24/7/2017	10.00-15.00, 16.00-17.00	6
25/7/2017	-	0
26/7/2017	-	0
27/7/2017	09.00-16.00	7
28/7/2017	10.00-14.00	4
29/7/2017	09.00-15.00	6
Total		52

KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan pada penelitian dapat ditarik beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Nilai maksimum dan rerata potensi radiasi matahari daerah Panam lebih besar dibanding daerah Sudirman yaitu: 1.053 W/m^2 berbanding 949 W/m^2 dan $434,5 \text{ W/m}^2$ berbanding $314,2 \text{ W/m}^2$.
2. Faktor ketersediaan pembangkit listrik PLTS dengan pola stand-alone daerah Panam sebesar 44,3% dan daerah Sudirman sebesar 28,6% atau 36,45% untuk kota Pekanbaru.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih penulis sampaikan kepada tim yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini dan khususnya kepada LPPM UR yang telah membiayai seluruh dana penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahren, C. Donald., 2003. Meteorology Today, An Introduction to Weather, Climate, and Environment. America: Thomson Learning, Inc.
- BPPT., 2017. Pengujian PV dan Pendukungnya. [Online] Tersedia pada: <http://smg.b2tke.bppt.go.id/index.php/2017/04/04/pengujian-pv-dan-pendukungnya/> [Accessed 21 August 2017].
- Cameron, J., Tazoult, TD., 2015. Availability Factor. [Online] Tersedia pada: <https://energymag.net/technologies/availability-factor/> [Accessed 21 August 2017].
- Duffie, JA., Beckman, WA., 1991. Solar Engineering of Thermal Processes 2nd Edition, New York: Wiley.
- Hunt, K., Blekicky, A., Callery, R., 2015. Availability of Utility-Scale Photovoltaic Power Plants. IEEE 42nd photovoltaic Specialist Conference (PVSC). New Orleans, LA, USA.
- Leonard, D., Jaffe, 1985. Availability of Solar and Wind Generating unit. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-104, No. 5, May 1985.
- Martin, JCA., 2012. Key Performance Indicators Wind Farm Availability: TIME Vs ENERGY. Lyon: Iberdrola.
- Nelson, J., 2003. The Physics of Solar Cells. UK: Imperial College.
- Pemprov Riau., 2015. Laporan Akhir Rencana Umum Energi Daerah (RUES) Provinsi Riau 2016-2035., Jakarta Selatan: PT. Shiddiq Sarana Mulya.
- SCL., 2011. Konsep Kerja Sistem PLTS. [Online] Tersedia pada :

<https://tenagamatahari.wordpress.com/beranda/konsep-kerja-sistem-plts/> [Accessed 21 August 2017].

Septiadi, D., Nanlohy, P., Souissa, M., Rumlawang, FY., 2009. Proyeksi Potensi Energi Surya Sebagai Energi Terbarukan. Jurnal Meteorologi dan Geofisika Vol. 10 N. 1.

Septina, W., 2014. Sel Surya: Struktur dan Cara Kerja. [Online] Tersedia pada: <https://teknologisurya.wordpress.com/dasar-teknologi-sel-surya/prinsip-kerja-sel-surya/> [Accessed 21 August 2017].