

Modul Praktek PLTS On-Grid Berbasis Micro Inverter

Ida Bagus Ketut Sugirianta✉, I Gusti Ngurah Agung Dwijaya Saputra,
I Gusti Agung Made Sunaya

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali

✉ibksugirianta@pnb.ac.id

Abstrak: Pada umumnya, masyarakat diperkenalkan dengan model pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) *off-grid* yang diaplikasikan untuk daerah yang tidak ada jaringan PLN dengan cara menyimpan energi pada siang hari dan menggunakannya di waktu malam. PLTS yang ditawarkan ke masyarakat menggunakan *central inverter* untuk beberapa modul photovoltaic, yang menghasilkan tegangan DC yang tinggi dan berbahaya, serta ukuran yang besar dan harga yang mahal. Dalam penelitian ini, model PLTS *on-grid* dibangun untuk modul praktek yang langsung terhubung ke PLN serta tidak memerlukan baterai penyimpanan maupun *charger* sehingga mengurangi biaya investasi dan cocok diaplikasikan di masyarakat. Micro inverter berukuran kecil dapat dipasang langsung di bawah modul surya dan menghasilkan tegangan AC yang langsung dapat dimanfaatkan untuk dipakai sendiri maupun dijual ke PLN. Modul yang dibangun adalah sebuah PLTS *on-grid* 300wp dengan menggunakan *micro inverter* 300 watt dan dilengkapi dengan beban listrik berupa bola lampu dan stop kontak. Untuk pengambilan data, model ini dihubungkan dengan jaringan PLN melalui pelanggan listrik rumah tangga dengan daya 1.300 VA. Hasil pengukuran PLTS ini mampu membangkitkan daya tertinggi sebesar 142,37 watt dan berhasil mendistribusikan daya tertinggi ke jaringan PLN sebesar 115,41 watt. Model PLTS ini siap digunakan sebagai modul praktek dan juga media promosi ke masyarakat tentang model PLTS *on-grid* yang mempunyai nilai ekonomi untuk membantu pemerintah dalam pencapaian target nasional di bidang *renewable energy*.

Kata kunci: *Central inverter, micro inverter, PLTS on-grid, photovoltaic, renewable energy.*

Abstract: *Generally, an off-grid solar power model was applied widely to areas with no electrical network exist for storing energy during the day and using it at night. This model uses a central inverter for several photovoltaic modules, which produces high and dangerous DC voltages, and also has large sizes and high prices. In this study, on-grid solar system model based on micro inverter is built that can use for purposes of teaching material that directly connected to the electrical grid with no batteries or chargers, thereby reducing investment costs and suitable to be applied in the community. Small sized micro inverters can be installed directly under the solar module and also generate AC voltage that can be directly used for own use or sold to PLN. The module that is built is an on-grid solar photovoltaic 300wp model using a 300 watt micro inverter and equipped with an electric load in the form of a light bulb and socket outlet. For data retrieval, this model is connected to the PLN network through household electricity customers with 1,300 VA power. The result of measurement this solar power model cangenerate the maksimum electric power is 142.37watt and can distribute electric power to PLN around 115,41 watt. This PLTS model is ready to be use for purposes of teaching material and also for promotion to community about model of on-grid PLTS that having economy value so can support goverment in achieving the national target in the renewable energy field.*

Keywords: *Central inverter, micro inverter, PLTS on-grid, photovoltaic, renewable energy.*

I. PENDAHULUAN

Saat ini *fossil* merupakan sumber energi utama untuk membangkitkan energi listrik, sementara persediaan fosil semakin terbatas jumlahnya. Sumber energi baru dan terbarukan merupakan alternatif sumber energi listrik yang ketersediaannya sangat melimpah. Dalam target bauran energi nasional, pemerintah telah menetapkan untuk meningkatkan pemanfaatan energi baru dan terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025. Peningkatan pemanfaatan energi terbarukan inilah yang menjadi urgensi dari penelitian ini. Energi surya adalah salah satu sumber energi terbarukan yang ketersediaannya sangat melimpah di Indonesia. *Solar photovoltaic (PV) system* atau Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan salah satu jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan tenaga surya dan saat ini banyak dikembangkan. Hal ini dikarenakan energi ini lebih bersih, tanpa memerlukan bahan bakar, dan keberlanjutan serta dapat diandalkan [1].

Sumber energi ini memanfaatkan sinar matahari dengan mengubah sinar tersebut menjadi energi listrik melalui *solar cells*. Saat ini pembangunan PLTS bukan hanya dalam skala besar tetapi banyak juga dibangun dalam skala kecil yaitu dibangun di rumah tinggal masyarakat baik di perkotaan maupun di pedesaan. Pemasangan PLTS *on-grid* pada rumah tinggal masyarakat khususnya masyarakat yang tinggal di perkotaan adalah salah satu cara yang mempunyai pengaruh sangat besar dalam membantu pencapaian target bauran energi nasional. Pemakaian listrik masyarakat perkotaan sebagian besar hanya pada malam hari karena di siang hari mereka sibuk bekerja di luar rumah, maka pemanfaatan energi surya yang sangat melimpah di siang hari sehingga penggunaan sistem PLTS *on-grid* di skala rumah tinggal merupakan keniscayaan.

Pada aplikasi pemasangan PLTS, diperlukan ketersediaan sumber daya manusia (SDM) yang mempunyai pengetahuan di bidang PLTS. Untuk

menunjang ketersediaan SDM ini, maka diperlukan adanya modul pembelajaran di bidang PLTS yang bisa digunakan sebagai sarana praktikum untuk meningkatkan pengetahuan mahasiswa. Selain itu, model PLTS *on-grid* ini juga bisa digunakan sebagai alat promosi kepada masyarakat dalam hal pemanfaatan energi surya yang dapat diandalkan.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini akan membangun model PLTS *on-grid* untuk modul praktek dan juga bisa digunakan sebagai alat promosi kepada masyarakat tentang PLTS *on-grid* dalam skala rumah tinggal yang mempunyai nilai ekonomi. Sesuai dengan bagan alir pada Gambar 1, maka tahap penelitian adalah sebagai berikut: pertama, model PLTS *on-grid* akan dirancang tanpa menggunakan baterai.



Gambar 1. Bagan alir penelitian.

Selanjutnya, dipilih beberapa jenis *micro inverter* yang ada di pasaran yang nantinya akan menghasilkan biaya yang rendah dan keluaran yang optimum. Setelah didapatkan model yang terbaik, selanjutnya adalah membangun PLTS *on-grid* menggunakan *micro inverter*. Model PLTS yang telah dibangun diuji dan diukur keluarannya untuk pengambilan data. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan 3 buah *power meter* dengan mengukur arus, tegangan dan juga $\cos \phi$. Pengukuran dilakukan pada 3 titik (di posisi PLN, PLTS dan beban). Hasil pengukuran ini selanjutnya digunakan untuk menghitung dan menganalisis energi yang dibangkitkan. Tahap terakhir adalah menarik kesimpulan.

A. Model PLTS

Pada proses perancangan model PLTS, terdapat 3 kategori PLTS yang digunakan, yaitu PLTS On-Grid dengan baterai, PLTS On-Grid tanpa baterai, dan PLTS Off-Grid.

1) PLTS Off-Grid (Stand-alone off-grid systems)

ini berdiri sendiri dan tidak terhubung dengan jaringan PLN. Sistem ini memerlukan baterai untuk menyimpan energi yang nantinya akan digunakan pada PLTS yang tidak menghasilkan energi seperti pada malam hari.

2) PLTS On-Grid Tanpa Baterai (Batteryless grid-tie systems)

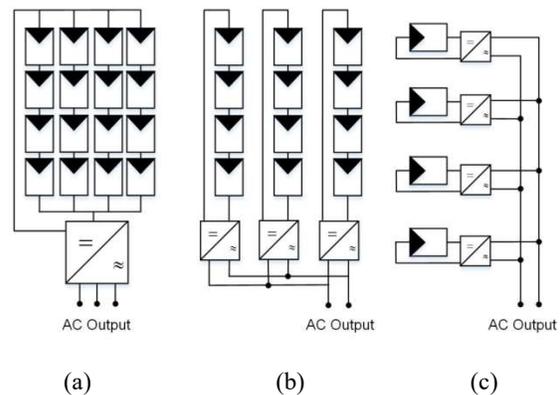
Sistem ini tidak menggunakan baterai dan merupakan sistem yang paling sederhana. Pada sistem ini, hanya diperlukan modul PV (*photovoltaic*) sebagai pembangkit energi dan *inverter* yang mengubah tegangan DC menjadi AC yang terhubung ke jaringan PLN.

3) PLTS On-Grid Dengan Baterai (Battery-based grid-tie systems)

Sistem ini mirip dengan *stand-alone systems* yang memiliki baterai, namun sistem ini juga terhubung ke jaringan/*utility grid*. Kelebihan energi yang dihasilkan dapat dijual ke PLN.

B. Micro Inverter

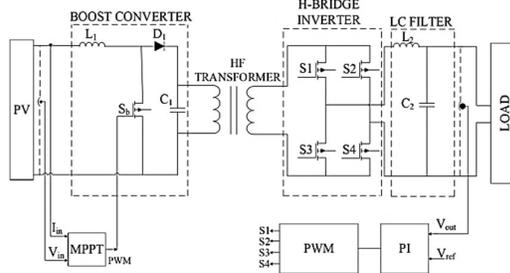
Secara umum, suatu sistem PLTS akan memiliki satu atau lebih panel surya (*PV panels*), *inverter* dan perangkat elektronik tambahan. Untuk saat ini, panel surya telah memasuki generasi ketiga yang mana bahan *solar cell* dibuat dengan teknologi *thin-film* yang salah satunya menggunakan *monocrystalline cell* yang memiliki efisiensi yang tinggi, namun lebih mahal dari bahan lainnya [2]. *Inverter* yang digunakan dapat dibagi menjadi 3, yaitu *string inverter*, *central inverter* dan *micro inverter* [3] – [9] yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kategori inverter untuk PLTS (a) *central inverter*, (b) *string inverter*, (c) *micro inverter* [3].

Central inverter seperti pada Gambar 2.a, banyak digunakan secara luas. *Inverter* jenis ini dilengkapi dengan *Maximum Power Point Tracking (MPPT) algorithm*. MPPT ini bekerja untuk mengekstrak maksimum daya yang mungkin dihasilkan oleh *photovoltaic* dan

meneruskannya ke beban melalui *boost converter* yang berfungsi menaikkan tegangan sesuai yang dibutuhkan [10].



Gambar 3. Struktur sebuah *micro inverter* [3].

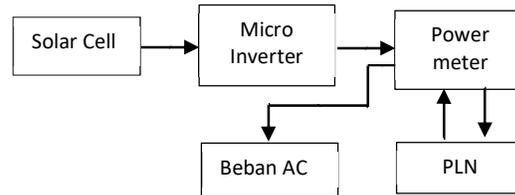
Satu *central inverter* akan melayani seluruh panel surya yang ada, sedangkan *string inverter* melayani sekelompok modul surya. Pada kedua jenis inverter ini, jika salah satu modul terkena bayangan, maka dampaknya akan ke seluruh sistem atau ke satu kelompok panel tersebut. Untuk *micro inverter*, masing-masing modul akan dilengkapi *inverter* yang jika salah satu modul terkena bayangan, maka hanya modul tersebut yang terpengaruh. Rangkaian dasar dari *micro inverter* dapat dilihat seperti pada Gambar 3.

Sebuah *micro inverter* diletakkan langsung di bawah modul surya, dan tegangan keluarannya sudah berupa tegangan AC. Hal ini tentu akan mengurangi rugi-rugi akibat penyaluran tegangan DC dari modul ke *inverter*. Semakin panjang, maka akan banyak rugi-rugi daya yang terjadi pada tegangan rendah.

Micro inverter pada Gambar 3 memiliki 2 tahapan (*stages*), pada tahap pertama terdapat *boost converter* yang diisolasi karena adanya *transformator*. *Boost converter* konvensional dibangun menggunakan kumparan L_1 , saklar S_b , dioda D_1 , dan kapasitor C_1 . MOSFET digunakan sebagai *switching* yang dikontrol secara *closed loop* menggunakan MPPT controller. Untuk tahap kedua merupakan *H-bridge inverter* [11]. Pada tahap ini antara *converter* dan *inverter* diisolasi menggunakan trafo frekuensi tinggi (*HF transformer*). Pada *H-bridge inverter* terdapat 4 buah MOSFETs yang dikontrol menggunakan *pulse width modulation* (PWM) dengan *proportional-integral* (PI) controller. Sebuah LC filter ditempatkan di bagian keluaran inverter untuk mengurangi harmonisa yang timbul dan membangkitkan gelombang sinus murni.

Pemilihan penggunaan *micro inverter* dibandingkan dengan *string inverter* dan *central inverter* berdasarkan beberapa pertimbangan [12] yaitu berdasarkan keandalan sistem meningkat dari 5 tahun menjadi 20 tahun dengan berkurangnya suhu *converter* dan tidak diperlukannya kipas. Penggantian sistem *switching* yang sebelumnya menggunakan *hard-switching* pada *string inverter* menjadi *soft switching* pada *micro inverter* dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi disipasi panas. *Micro inverter* cenderung memerlukan suplai daya kecil (beberapa ratus watt saja) yang menghasilkan suhu internal alat yang rendah dan juga meningkatkan keandalan. Konverter yang terhubung ke *grid* akan menghilangkan kebutuhan baterai

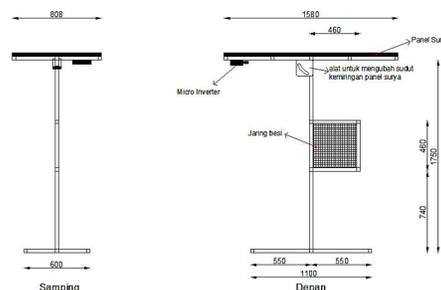
yang harganya mahal, juga memerlukan perawatan dan umur operasi yang singkat [13].



Gambar 4. Blok diagram PLTS on-grid berbasis *micro inverter*.

Central inverter dan *string inverter* yang menangani banyak modul yang terhubung seri menghasilkan tegangan DC yang tinggi yang tentu saja perlu penanganannya yang lebih ekstra. Blok diagram rangkaian PLTS *on-grid* berbasis *micro inverter* dapat dilihat pada Gambar 4.

Sesuai dengan blok diagram pada Gambar 4, model PLTS *on-grid* yang dibangun terdiri dari *solar cell*, *micro inverter*, meter ukur, beban AC dan PLN. *Solar cell* sebagai pengubah energi surya menjadi energi listrik DC dalam sistem ini menggunakan panel surya 300 Wp yang langsung menyalurkan energi listrik ke *micro inverter* (*micro inverter* model : WVC300-230 VAC) yang dipasang langsung di bawah panel surya. *Micro inverter* ini mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC, *output inverter* ini selanjutnya dihubungkan dengan *power meter* untuk mengukur arus, tegangan dan juga $\cos \phi$ dari panel surya. Arus yang dibangkitkan oleh panel surya ini dapat digunakan untuk melayani beban dan juga bisa disalurkan ke jaringan PLN. PLN dalam hal ini dapat berperana sebagai penyalur daya listrik dan juga sebagai penerima aliran listrik. Sesuai dengan blok diagram Gambar 4, maka pada sistem ini beban akan disuplai melalui 2 sumber, yaitu dari sumber *solar cell* dan dari PLN. Jika beban yang dilayani cukup hanya disuplai dari *solar cell*, maka beban akan sepenuhnya hanya disuplai oleh *solar cell*. Jika produksi daya listrik dari *solar cell* kurang dari kebutuhan beban, maka suplai daya akan dipasok melalui dua sumber yaitu *solar cell* dan PLN. Jika suplai *solar cell* melebihi daya yang dibutuhkan oleh beban, maka daya ini dapat disalurkan ke PLN atau dalam istilah lainnya dapat dijual ke PLN. Gambar rancangan model PLTS *on-grid* dibuat dengan *autocad*, model dirancang agar dapat dipindah-pindahkan dengan dudukan yang bisa menopang panel PLTS sehingga bisa dengan mudah ditempatkan pada lokasi yang diinginkan. Gambar rancang bangun model ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Rancang bangun PLTS *on-grid* berbasis *micro inverter*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

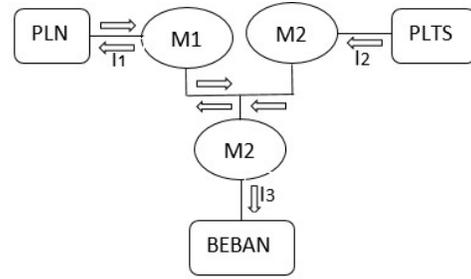
Rancang bangun model PLTS ini menggunakan jenis *inverter* yang berbeda dari yang umumnya digunakan, yaitu menggunakan *micro inverter* (*Micro Inverter* model: WVC300-230 VAC) dengan penempatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Gambar 6 dan 7 menunjukkan hasil perakitan yang telah dilakukan dengan menempatkan alat ukur pada panel yang ada agar hasil pengukuran seperti arus, tegangan, daya, faktor daya, dapat terbaca dengan mudah. Selain itu, juga ditambahkan 3 buah bola lampu sebagai beban yang dipilih dengan daya yang berbeda agar dapat diketahui perbedaan yang terjadi terhadap variabel yang diukur. Terdapat 4 (empat) buah stop kontak yang nantinya dapat digunakan untuk penambahan beban listrik yang berbeda seperti untuk *charge hp*.



Gambar 6. Model PLTS dengan *micro inverter*.



Gambar 7. Panel pada model PLTS dengan *micro inverter*.

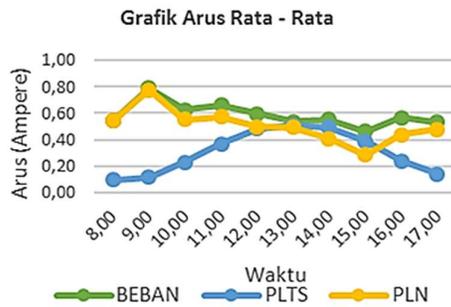


Gambar 8. Blok diagram pengukuran model PLTS.

Blok diagram pengukuran model PLTS yang ditampilkan dalam Gambar 8 menunjukkan bahwa pengukuran dilakukan dengan menggunakan 3 buah *power meter* (M1, M2 dan M3). Power meter M1 akan mengukur tegangan, $\cos \phi$, dan arus yang mengalir pada jaringan PLN, power meter M2 akan mengukur tegangan, $\cos \phi$ dan arus yang mengalir dari PLTS, sedangkan power meter M3 merupakan power meter yang mengukur tegangan, $\cos \phi$ dan arus yang mengalir menuju ke beban. Beban yang digunakan berupa bola lampu dengan daya yang bervariasi mulai dari 90watt sampai dengan 150 watt. Pengetesan fungsi kerja dan pengukuran sistem PLTS *on grid* ini dilakukan di sebuah rumah tinggal yang berlangganan listrik PLN dengan daya 1300VA berlokasi di daerah Mambal, kota Badung Bali. Pengukuran dilakukan mulai dari pukul 08.00 sampai dengan pukul 18.00 WITA. Pada setiap pengukuran per hari, dilakukan pengambilan data sebanyak 10 kali yaitu pada pukul 08.00, 09.00, 10.00, 11.00, 12.00, 13.00, 14.00, 15.00, 16.00 dan 17.00. Hasil pengukuran harian dihitung rata-ratanya dan rata-rata hasil pengukuran yang dilaksanakan selama 10 hari dapat dilihat dalam Tabel 1 dan Gambar 9.

Tabel 1. Rata-rata pengukuran arus.

Waktu	Beban		Suplai PLTS		Suplai PLN		Teg. (V)
	Arus (A)	Cos ϕ	Arus (A)	Cos ϕ	Arus (A)	Cos ϕ	
8.00	0,54	0,80	0,10	0,20	0,54	0,74	223,6
9.00	0,79	0,86	0,12	0,28	0,78	0,81	222,8
10.00	0,63	0,85	0,23	0,64	0,55	0,63	225,6
11.00	0,66	0,85	0,37	0,88	0,57	0,28	225,0
12.00	0,60	0,80	0,49	0,94	0,50	0,08	227,4
13.00	0,54	0,86	0,51	0,94	0,50	-0,15	226,7
14.00	0,55	0,82	0,49	0,94	0,41	0,04	223,9
15.00	0,47	0,87	0,39	0,88	0,29	0,04	225,2
16.00	0,57	0,81	0,24	0,77	0,44	0,51	224,9
17.00	0,53	0,83	0,14	0,48	0,48	0,75	227,6



Gambar 9. Grafik arus rata-rata.

Hasil pengukuran PLTS *on grid* berbasis *micro inverter* menunjukkan bahwa arus yang dihasilkan pada *output micro inverter* tergantung kepada tingkat pancaran radiasi sinar matahari yang menuju ke modul surya. Semakin besar radiasi sinar matahari yang mengenai modul surya, maka semakin besar energi yang dibangkitkan oleh panel surya. Sistem kelistrikan DC yang dibangkitkan oleh panel surya selanjutnya dikonversikan ke sistem AC oleh *micro inverter*. Keluaran dari *micro inverter* dihubungkan ke beban dan juga bisa langsung dihubungkan ke jaringan listrik PLN tanpa harus mengkalibrasi tegangan dan sudut fasenya, karena *micro inverter* ini sudah dapat bekerja secara otomatis untuk mengkalibrasi keluarannya. Tabel 1 menunjukkan rata-rata hasil pengukuran arus listrik, $\cos \phi$ dan tegangan. Parameter ini diukur pada tiga titik yang berbeda, yaitu di posisi beban, di posisi PLTS dan posisi PLN. Hal yang menjadi fokus dalam pembahasan ini adalah arus yang dihasilkan oleh PLTS, arus terbesar yang dibangkitkan PLTS terjadi pada pengukuran hari kedua yaitu sebesar 0,64 Ampere dengan $\cos \phi$ 0,98, hasil terendah adalah pada pukul 09.00 sebesar 0,09 Ampere dengan $\cos \phi$ 0,28. Gambar 9 menampilkan nilai rata-rata hasil pengukuran arus PLTS pada setiap pukul selama 10 hari, nilai arus mulai meningkat tajam pada pukul 09.00 dengan nilai rata-rata pengukuran tertinggi adalah pada pukul 13.00 dengan nilai 0,51 Ampere dan $\cos \phi$ 0,94. Dari Tabel 1 dapat dilihat bahwa model PLTS yang dibangun telah berhasil mengalirkan arus listrik ke beban., Dalam hal ini, yang perlu diperhatikan dari tabel tersebut adalah nilai $\cos \phi$ yang minus., Nilai minus ini bukan merupakan hasil pengukuran dari *power meter*. Pada kondisi ini, *power meter* tidak mampu menunjukkan hasil pengukurannya danyang ditunjukkan hanya nilai 0 (nol) sehingga dengan kondisi seperti ini maka diperlukan kajian lanjutan. Sementara itu, semua angka minus pada Tabel 1 diperoleh melalui perhitungan dengan menggunakan Persamaan (1) berikut:

$$P_3 (\text{beban}) = P_1(\text{PLN}) + P_2(\text{PLTS}) \quad (1)$$

$$V.I_3.\text{Cos}\phi_3 = V.I_1.\text{Cos}\phi_1 + V.I_2.\text{Cos}\phi_2$$

$$\text{Cos}\phi_1 = (I_3.\text{Cos}\phi_3 - I_2.\text{Cos}\phi_2) / I_1$$

Nilai minus menunjukkan bahwa ada aliran arus yang arahnya terbalik yaitu aliran arus dari PLTS ke jaringan PLN, jadi pada kondisi ini model PLTS yang dibuat telah berhasil menyalurkan daya listrik ke PLN.

Dari hasil pengukuran arus, baik yang masuk ke beban, arus yang disuplai oleh PLTS dan juga arus yang mengalir dari dan ke jaringan PLN, maka dapat dihitung besarnya daya yang masuk ke beban, daya yang dibangkitkan PLTS dan daya yang disuplai atau daya yang mengalir ke jaringan PLN dengan menggunakan Persamaan (2) berikut:

$$P = V.I \text{ Cos } \phi \quad (2)$$

Dengan menggunakan Persamaan (2), maka diperoleh hasil perhitungan daya listrik seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2 – 11 di bawah.

Tabel 2. Perhitungan daya hari ke-1.

Waktu Pengukuran	Beban (W)	Suplai PLTS (W)	Suplai PLN (W)
8.00	57,88	5,38	52,42
9.00	118,81	19,34	99,63
10.00	199,60	55,94	144,55
11.00	19,67	94,94	-75,28
12.00	89,41	109,61	-20,20
13.00	48,85	115,62	-66,78
14.00	146,52	90,37	56,36
15.00	92,86	61,25	31,70
16.00	381,44	34,71	347,81
17.00	74,69	13,13	61,56

Tabel 3. Perhitungan daya hari ke-2.

Waktu Pengukuran	Beban (W)	Suplai PLTS (W)	Suplai PLN (W)
8.00	111,91	8,63	101,74
9.00	185,54	7,58	178,36
10.00	17,03	14,98	2,27
11.00	139,83	80,63	58,84
12.00	26,97	142,37	-115,41
13.00	101,36	137,93	-36,57
14.00	217,38	126,80	91,53
15.00	111,89	78,45	31,33
16.00	22,16	48,49	-26,33
17.00	71,48	26,88	42,95

Tabel 4. Perhitungan daya hari ke-3.

Waktu Pengukuran	Beban (W)	Suplai PLTS (W)	Suplai PLN (W)
8.00	116,12	4,95	113,21
9.00	43,33	6,91	36,93
10.00	48,24	27,72	20,25
11.00	168,36	31,57	136,53
12.00	75,75	60,97	7,79
13.00	33,00	128,46	-95,46
14.00	99,72	105,04	-5,33
15.00	101,97	89,88	14,71
16.00	9,85	48,70	-38,85
17.00	81,26	24,28	57,64

Tabel 5. Perhitungan daya hari ke-4.

Waktu Pengukuran	Beban (W)	Suplai PLTS (W)	Suplai PLN (W)
8.00	243,90	2,78	240,34
9.00	145,01	3,00	143,19
10.00	183,78	34,98	147,82
11.00	111,15	68,36	42,44
12.00	138,14	105,94	32,38
13.00	53,28	110,25	-56,97
14.00	127,23	88,87	38,61
15.00	60,48	63,08	-2,60
16.00	160,52	13,84	146,18
17.00	197,96	6,98	192,24

Tabel 6. Perhitungan daya hari ke-5.

Waktu Pengukuran	Beban (W)	Suplai PLTS (W)	Suplai PLN (W)
8.00	108,25	3,00	105,25
9.00	145,01	3,00	143,19
10.00	154,98	25,52	129,76
11.00	154,85	82,74	72,80
12.00	96,88	49,08	47,67
13.00	414,69	113,10	302,94
14.00	2,81	113,64	-110,83
15.00	44,25	86,45	-42,19
16.00	69,80	35,97	33,87
17.00	112,36	18,13	94,30

Tabel 7. Perhitungan daya hari ke-6.

Waktu Pengukuran	Beban (W)	Suplai PLTS (W)	Suplai PLN (W)
8.00	48,70	3,35	45,58
9.00	112,10	4,05	110,30
10.00	115,81	14,78	102,10
11.00	228,34	48,62	179,92
12.00	342,40	94,53	248,99
13.00	76,41	83,99	68,33
14.00	105,70	85,34	97,05
15.00	147,75	53,94	93,82
16.00	82,92	49,99	32,88
17.00	74,24	18,22	56,20

Tabel 8. Perhitungan daya hari ke-7.

Waktu Pengukuran	Beban (W)	Suplai PLTS (W)	Suplai PLN (W)
8.00	11,34	4,50	6,89
9.00	121,77	7,43	114,08
10.00	69,60	36,80	32,80
11.00	160,38	55,08	104,90
12.00	122,12	105,37	16,80
13.00	238,58	96,08	142,64
14.00	70,71	91,89	-21,18
15.00	41,14	60,24	-19,10
16.00	146,41	41,13	105,84
17.00	70,58	19,58	51,11

Tabel 9. Perhitungan daya hari ke-8.

Waktu Pengukuran	Beban (W)	Suplai PLTS (W)	Suplai PLN (W)
8.00	11.34	4.50	6.89
9.00	82.85	13.83	68.93
10.00	227.81	64.27	162.92
11.00	4.10	98.50	-94.39
12.00	1.69	105.27	-103.58
13.00	1.70	116.86	-115.16
14.00	1.67	110.74	-109.07
15.00	73.18	112.99	-39.80
16.00	92.88	74.81	18.09
17.00	201.46	26.27	174.51

Tabel 10. Perhitungan daya hari ke-9.

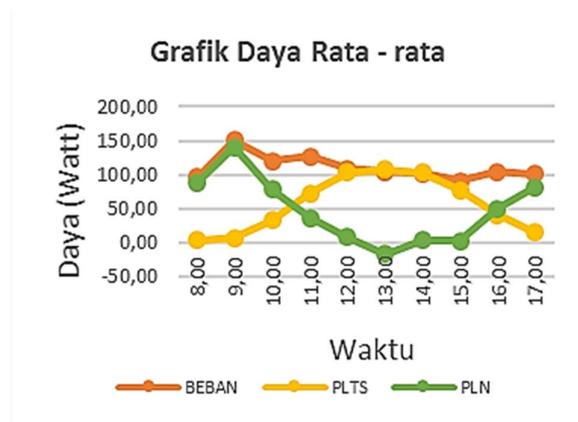
Waktu Pengukuran	Beban (W)	Suplai PLTS (W)	Suplai PLN (W)
8.00	187,35	4,03	185,29
9.00	151,52	5,39	145,30
10.00	153,54	61,09	92,95
11.00	201,69	82,24	119,97
12.00	17,09	127,15	-110,06
13.00	127,79	138,53	-10,74
14.00	175,83	113,62	60,64
15.00	174,98	97,20	75,69
16.00	73,51	48,06	26,93
17.00	100,68	8,21	93,02

Tabel 11. Perhitungan daya hari ke-10.

Waktu Pengukuran	Beban (W)	Suplai PLTS (W)	Suplai PLN (W)
8.00	141,28	2,63	139,61
9.00	413,22	4,62	410,14
10.00	62,90	11,83	52,35
11.00	48,42	94,68	-46,26
12.00	239,26	140,15	100,38
13.00	35,26	47,73	-12,48
14.00	81,68	108,16	-26,47
15.00	39,12	69,22	-30,10
16.00	58,80	30,11	28,69
17.00	35,96	3,27	33,37

Tabel 12. Perhitungan daya hari ke-11.

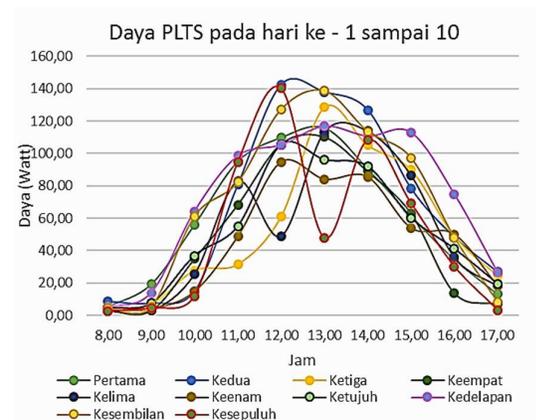
Waktu Pengukuran	Beban (W)	Suplai PLTS (W)	Suplai PLN (W)
8.00	103,81	4,37	99,72
9.00	151,91	7,51	145,00
10.00	123,33	34,79	88,78
11.00	123,68	73,74	49,94
12.00	114,97	104,04	10,48
13.00	113,09	108,85	11,98
14.00	102,93	103,45	7,13
15.00	88,76	77,27	11,35
16.00	109,83	42,58	67,51
17.00	102,07	16,49	85,69



Gambar 10. Grafik rata-rata pengukuran daya.

Tabel 2 - 11 menunjukkan 3 (tiga) hasil perhitungan besarnya daya listrik dari hasil pengukuran arus pada model PLTS yang dibangun. Pertama, daya listrik yang masuk ke beban. Kedua, daya yang dibangkitkan oleh PLTS dan yang ketiga adalah daya yang disalurkan oleh PLN atau daya yang masuk ke jaringan PLN. Dapat dilihat bahwa daya yang masuk ke beban merupakan penjumlahan dari daya yang dibangkitkan oleh PLTS dengan daya yang mengalir di jaringan PLN. Daya yang mengalir di jaringan PLN dalam hal ini dapat dibedakan menjadi dua yaitu, yang pertama mengalir dari PLN ke beban dan yang kedua adalah ada aliran dari PLTS menuju ke jaringan PLN. Hal ini terjadi karena daya listrik yang dibangkitkan oleh PLTS lebih besar dari daya listrik yang diperlukan oleh beban sehingga kelebihan daya listrik inilah yang disalurkan ke PLN. Aliran daya dari PLTS ke PLN ini ditandai dengan nilai minus di dalam tabel. Hampir pada setiap hari pengukuran, terdapat adanya aliran daya dari PLTS ke PLN, rata-rata antara pukul 11.00-15.00. Aliran daya ke PLN terbesar terjadi pada hari kedua pada pukul 12.00 sebesar 115,41 watt, pada saat itu PLTS membangkitkan daya listrik sebesar 142,37 watt sedangkan beban yang dilayani hanya sebesar 26,7 watt. Tabel 12 menunjukkan rata-rata hasil perhitungan daya listrik selama sepuluh hari yang diambil pada setiap jam. Tabel ini menunjukkan bahwa rata-rata pembangkitan energi listrik tertinggi dari PLTS terjadi pada jam 13.00 dengan nilai rata-rata sebesar

108,85 watt, dan nilai rata-rata pembangkitan energi terkecilnya adalah sebesar 4,37Watt yang terjadi pada jam 08.00. Grafik rata-rata perhitungan daya listrik yang ditunjukkan pada Gambar 10 memperlihatkan bahwa mulai di atas pukul 10.00 sampai mendekati pukul 16.00, pembangkitan daya listrik PLTS lebih besar dari suplai daya listrik yang disalurkan oleh PLN. Pada posisi pukul 13.00 suplai daya dari PLN berada pada posisi minus. Hal ini menunjukkan bahwa ada aliran daya listrik dari PLTS ke PLN. Sistem yang mengalirkan daya listrik dari PLTS yang dibangun masyarakat ke PLN merupakan tawaran sistem baru dari pemerintah kepada masyarakat sehingga masyarakat yang memiliki PLTS dapat menjual kelebihan daya listrik yang dibangkitkannya kepada PLN, sesuai regulasi *feed in tariff* yang telah ditetapkan oleh Kementerian ESDM RI.



Gambar 11. Grafik pembangkitan daya PLTS selama 10 hari.

Gambar 11 adalah grafik pembangkitan daya listrik selama 10 hari dari model PLTS yang dibangun. Grafik ini menunjukkan bahwa model PLTS yang dibangun telah dapat membangkitkan energi listrik. Pembangkitan energi meningkat tajam mulai pukul 09.00 dan puncaknya terjadi di antara pukul 12.00 sampai pukul 14.00. Grafik memperlihatkan bahwa pembangkitan energi tertinggi adalah di atas 140 watt yang terjadi pada hari kedua pada pukul 12.00. Model PLTS *on grid* berbasis *micro inverter* ini telah berhasil membangkitkan daya listrik, menyalurkan daya ke beban dan juga menyalurkan daya ke PLN, tanpa memerlukan baterai dan *charge controller* yang harganya mahal. Hal inilah yang menjadi nilai ekonomi dari sistem PLTS *on-grid* sehingga layak untuk dipromosikan kepada masyarakat.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil pengukuran, perhitungan dan analisa data yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa model PLTS *on grid* berbasis *micro inverter* ini telah berfungsi dengan baik, mampu membangkitkan daya listrik, mampu menyalurkan listrik ke beban dan juga mampu menyalurkan daya listrik ke jaringan PLN, sehingga model ini siap untuk dipakai sebagai modul praktek dan juga sebagai alat promosi PLTS *on-grid* kepada masyarakat.

Pada instalasi listrik yang dilengkapi dengan PLTS *on-grid*, maka PLTS akan bekerja sebagai pemasok utama beban listrik sehingga seluruh daya listrik yang dibangkitkan PLTS akan disalurkan ke beban yang terpasang dan kekurangannya baru akan disuplai oleh PLN. Apabila daya listrik yang dibangkitkan PLTS lebih besar dari daya yang dibutuhkan, maka kelebihan daya PLTS akan disalurkan (dijual) ke PLN.

Dari 10 hari pengukuran yang dilakukan, maka daya terbesar yang mampu dibangkitkan oleh PLTS ini adalah sebesar 142,37 watt pada pukul 12.00 dan pada saat yang bersamaan, PLTS ini mampu menyalurkan daya listrik terbesar ke PLN sebesar 115,41 watt. Sistem PLTS *on-grid* ini tidak menggunakan baterai sehingga tidak memerlukan biaya pembelian dan perawatan baterai dan *charge controller*, sehingga biaya investasi untuk membangun sistem ini bisa dikurangi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. P. Mahela and A. G. Shaik, "Comprehensive overview of grid interfaced solar photovoltaic systems," *Ren. Sus. En. Rev.*, vol. 68, pp. 316-332, 2017.
- [2] A. M. Bagher, M. M. A. Vahid and M. Mohsen, "Types of solar cells and application," *American Journal of Optics and Photonics*, pp. 94-113, 2015.
- [3] E. Kabalci, A. Boyar and Y. Kabalci, "Design and analysis of a micro inverter for PV plants," in *Proc. of 9th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI), Targoviste*, 2017, pp. 1-6.
- [4] J. Sedo and S. Kascak, "Control of single-phase grid connected inverter system," in *Proc of 2016 ELEKTRO, Strbske Pleso*, 2016, pp. 207-212.
- [5] Z. Yao and L. Xiao, "Control of single-phase grid-connected inverters with nonlinear loads," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, no. 4, pp. 1384-1389, April 2013.
- [6] W. Li and X. He, "Review of non-isolated high step-up dc/dc converters in photovoltaic grid-connected applications," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 58, no. 4, pp. 1239-1250, 2011.
- [7] J. Kan, Y. Wu and Z. Yao, "A flexible topology converter for photovoltaic micro-inverter," in *Proc. of 20th International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), Sydney, NSW*, 2017, pp. 1-5.
- [8] I. Bourguiba, A. Houari, H. Belloumi and F. Kourda, "Control of single-phase grid connected photovoltaic inverter," in *Proc. of 4th International Conference on Control Engineering & Information Technology (CEIT), Hammamet*, 2016, pp. 1-6.
- [9] X. Cao and W. Zhang, "Grid-connected solar micro-inverter reference design," in *Proc. of 2011 International Conference on New Technology of Agricultural, Zibo*, 2011, pp. 239-243.
- [10] S. Qin, C. B. Barth and R. C. N. Pilawa-Podgurski, "Enhancing microinverter energy capture with submodule differential power processing," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 31, no. 5, pp. 3575-3585, May 2016.
- [11] J. L. Diaz-Bernabe and A. Morales-Acevedo, "Simulation of a double-stage micro-inverter for grid-connected photovoltaic modules," in *Proc. of 2016 Electrical Engineering Com. (CCE), Mexico*, 2016.
- [12] M. Patel, H. Surati and J. Patel, "Modelling and simulation of photovoltaic module for micro inverter application," in *Proc. of 2017 International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICEI), Tirunelveli, India*, 2017, pp. 82-85.
- [13] J.A. Patel and P. D. Solanki, "Comparative analysis of string inverter and micro inverter for solar based power system," *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 2014.