

PERENCANAAN SISTEM JARINGAN MIKRO (MICROGRID) DENGAN SUPPLY DARI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA (PLTS) DAN GENERATOR SET DI JURUSAN TEKNIK ELEKTRO UNIVERSITAS UDAYANA

I. P. Krisna Darma Putra, I. A. D. Giriantari, I. W. Arta Wijaya

Abstract — Network design Micro Electrical Engineering Department of the University of Udayana aims to harness solar power contained in the Department of Electrical Engineering are still stand alone system, namely, its use is still limited area of internet corner, has not been used as one of the suppliers of electrical power for the building - a building in the Department of Electrical Engineering. Based on simulation results show PLTS only able to serve load in an on-grid of 0.66% of the total production of electrical energy generated while the condition of the off-grid solar power can only serve load building DJs and building DH (load lighting and socket) at 3:21% and generator sets were installed in the Department of Electrical Engineering serve at 96.79%. Solar power capacity to be installed to meet the entire load of the building in the Department of Electrical Engineering is equal to the number of 211.814 Watt PV Module is needed as much as 26.267 pieces. This amount is influenced by the size of the capacity and efficiency of PV Module installed at this time.

Intisari — Perancangan jaringan mikro Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana bertujuan untuk memanfaatkan PLTS yang terdapat di Jurusan Teknik Elektro yang masih bersifat *stand alone system* yaitu, penggunaannya masih sebatas *area internet corner*, belum dimanfaatkan sebagai salah satu pemasok daya listrik untuk gedung – gedung di Jurusan Teknik Elektro.

Berdasarkan hasil simulasi menunjukkan PLTS hanya mampu melayani beban dalam keadaan *on-grid* sebesar 0.66% dari total produksi energi listrik yang dihasilkan sedangkan dalam kondisi *off-grid* PLTS hanya mampu melayani beban gedung DJ dan gedung DH (beban penerangan dan kotak kontak) sebesar 3.21% dan *generator set* yang terpasang di Jurusan Teknik Elektro melayani sebesar 96.79%. Kapasitas PLTS yang harus terpasang untuk dapat memenuhi seluruh beban gedung di Jurusan Teknik Elektro adalah sebesar 211,814 Watt dengan jumlah *PV Module* yang diperlukan sebanyak 26,267 buah. Jumlah ini dipengaruhi oleh kecilnya

Kata Kunci : *Microgrid, PV Module, PLTS, generator set, on-grid, off-grid.*

I. PENDAHULUAN

Jaringan listrik mikro (*microgrid*) masih dianggap sebagai jaringan listrik untuk wilayah terpencil yang sulit dijangkau oleh jaringan listrik PLN namun pada dasarnya dapat diterapkan untuk beberapa lokasi seperti komplek perumahan, perkantoran, atau area pendidikan yang terletak di kota – kota besar. Sistem ini dapat digabungkan dengan jaringan listrik PLN sehingga kontinuitas pasokan listrik tetap terjamin meskipun terjadi pemadaman listrik dan kelebihan energi yang dihasilkan dapat disimpan di dalam baterai atau dijual ke PLN.

Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana memiliki PLTS yang berkoordinat di $-8^{\circ}47'44''$ LS dan $115^{\circ}10'35''$ BT dengan *PV module* yang terpasang sebanyak 32 buah di atap *area internet corner*, dengan *PV module* dibagi menjadi 4 *PV array* dan sebanyak 16 buah *PV module* yang terpasang di halaman Jurusan Teknik Elektro, yang dibagi menjadi 2 *array* [1].

Penelitian dalam skripsi ini akan mendesain suatu jaringan listrik mikro (*microgrid*) dengan memanfaatkan PLTS dan *generator set* yang terdapat di Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana sebagai sumber daya listrik lokal yang akan dipararelkan dengan jaringan PLN, sehingga diharapkan dapat menjadi sumber daya cadangan ketika jaringan PLN

¹ Mahasiswa, Teknik Elektro dan Komputer Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung Bali. 80361, Tel. 0361703315 fax: 0361703315; e-mail: krisnaputra666@gmail.com

² Dosen Teknik Elektro dan Komputer Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung Bali. 80361, Tel. 0361703315 fax: 0361703315; e-mail: dayu.giriantari@yahoo.com

³ Dosen, Teknik Elektro dan Komputer Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran, Badung Bali. 80361, Tel. 0361703315 fax: 0361703315; e-mail: artawijaya@ee.unud.ac.id

padam dan PLTS dapat bekerja bersamaan dengan jaringan listrik dari PLN (*on-grid*) sehingga dapat meminimalkan penggunaan listrik dari PLN.

II. JARINGAN LISTRIK MIKRO

Jaringan listrik mikro adalah jaringan listrik dengan kapasitas pasokan daya yang relatif kecil, biasanya hanya 1 MW sehingga jaringan ini hanya bekerja pada tingkat distribusi tegangan menengah dan rendah. Jaringan ini terdiri dari beberapa pembangkit listrik lokal seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS), Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB), dan *generator* diesel/solar [2]. Jaringan listrik mikro ini dapat terhubung dengan jaringan *utility* seperti PLN (*on-grid*) maupun terpisah dengan jaringan *utility* (*off-grid*).

Jaringan listrik mikro memiliki komponen – komponen dasar yang sama dengan jaringan *utility* untuk beroperasi, yaitu terdiri dari *Distributed Generation* berupa pembangkit listrik seperti PLTS, PLTB yang dihubungkan dengan inverter, karena energi yang dibangkitkan kebanyakan berupa tegangan/arus DC [3]. Inverter untuk jaringan mikro *off-grid* dan *on-grid* memiliki perbedaan karakteristik, yaitu [4] :

1. Inverter untuk jaringan mikro *off-grid* harus mampu mensuplai tegangan AC yang konstan pada variasi dari pembangkit listrik dan tuntutan beban yang dilayani.
2. Inverter untuk jaringan *on-grid* mampu menghasilkan tegangan yang sama persis dengan tegangan jaringan pada waktu yang sama dan mengoptimalkan keluaran energi yang dibangkitkan oleh pembangkit listrik.

Selain itu terdapat pula *Distributed Storage* (media penyimpanan) seperti baterai atau aki, *Interconnection Switch* untuk menghubungkan jaringan mikro dengan jaringan *utility* dan *Control Panel* yang berfungsi untuk menjaga sinkronisasi dengan jaringan *utility*.

Perancangan jaringan mikro memerlukan perencanaan yang baik, untuk mendapatkan kualitas daya yang baik. Tahapan dalam perancangan jaringan mikro, antara lain [5] :

1. Mengidentifikasi kebutuhan beban
2. Pengklasifikasian beban
3. Pengklasifikasian sumber daya alam
4. Evaluasi Pembangkitan dengan kebutuhan beban
5. Pengembangan sistem manajemen energi
6. Penentuan peralatan dan spesifikasi

III. METODE

Langkah – langkah penelitian yang akan dilakukan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut :

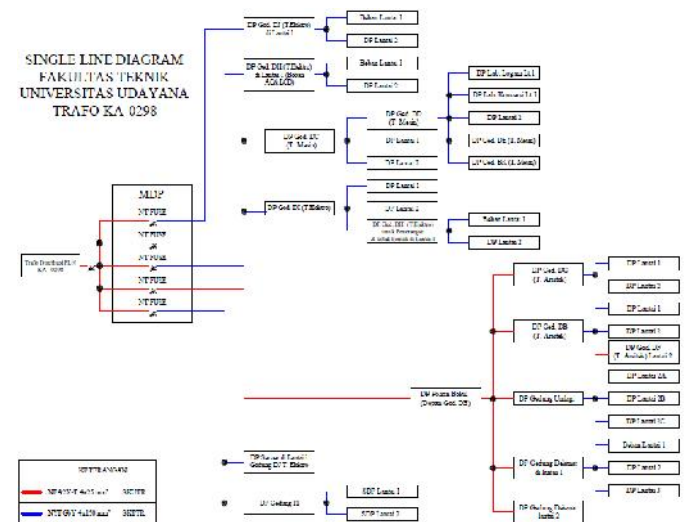
1. Mencari spesifikasi dari *PV module*, *generator set*, dan inverter yang digunakan di Jurusan Teknik Elektro. Data ini bersumber dari *nameplat* atau katalog yang didasari oleh jenis dan merek *PV module*, *generator set*, inverter yang digunakan.
2. Mencari data koordinat pemasangan *PV module* dan intensitas cahaya matahari di Jurusan Teknik Elektro. Pengumpulan data ini dilakukan melalui penelitian – penelitian terkait yang telah dilakukan sebelumnya.

3. Melakukan pengukuran beban harian untuk masing – masing gedung yang ada di Jurusan Teknik Elektro, gedung tersebut adalah gedung DJ, DH dan DI. Pengukuran akan dilakukan setiap jamnya dari pukul 08.00 wita sampai 17.00 wita. Pengukuran akan dilakukan selama 3 hari saat jadwal perkuliahan dan 2 hari saat liburan pergantian semester dengan menggunakan alat ukur *multimeter* merk HIOKI 3286-20.
4. Melakukan pengukuran tegangan dan arus yang dihasilkan oleh *PV module* yang terpasang di atap area internet *corner* dan halaman Jurusan Teknik Elektro menggunakan *multimeter* merk HIOKI.
5. Data – data yang diperoleh akan dianalisis menggunakan *software* HOMER untuk menentukan desain konfigurasi jaringan listrik mikro (*microgrid*) dengan memanfaatkan sumber daya dari PLTS dan *generator set* yang terdapat di Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana yang dipararelkan dengan jaringan listrik PLN dalam memenuhi semua beban di gedung - gedung Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana.
6. Menentukan jumlah PLTS agar mampu memenuhi semua beban di gedung – gedung Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana
7. Menentukan cara kerja jaringan mikro untuk beberapa skenario kejadian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum Sistem Kelistrikan di Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana

Fakultas Teknik Universitas Udayana mendapatkan pasokan listrik dari Trafo KA-0298 milik PLN yang berkapasitas 200 kVA yang kemudian disalurkan ke MDP (*Main Distibution Panel*) yang ditempatkan di Jurusan Teknik Elektro. MDP kemudian membagi saluran daya listrik menjadi 5 saluran sesuai gambar 1.



Gambar 1. Single Line Diagram Fakultas Teknik Universitas Udayana

Jurusan Teknik Elektro memiliki 3 gedung yang terdiri dari gedung DH yang berfungsi sebagai gedung perkuliahan, gedung DI yang berfungsi sebagai laboratorium dan gedung DJ yang berfungsi sebagai gedung administrasi dan perpustakaan dengan data beban seperti yang ditunjukkan tabel 1 dan tabel 2.

Tabel 1. Data beban di Jurusan Teknik Elektro pada saat jadwal perkuliahan

Waktu	Daya Aktif (kW)				Total (kW)
	Ged. DJ	Ged. DH (AC&LCD)	Ged. DH (lampu&stop kontak)	Ged. DI	
8.00	3.799	12.678	2.817	6.19	25.484
9.00	4.026	24.42	7.557	9.172	45.175
10.00	3.971	22.72	2.639	12.681	42.011
11.00	6.535	25.09	3.521	14.323	49.469
12.00	7.241	24.41	13.379	17.646	62.676
13.00	4.898	24.85	4.56	14.412	48.72
14.00	3.519	24.66	2.867	14.023	45.069
15.00	3.499	22.36	2.525	16.047	44.431
16.00	3.028	18.24	2.553	15.721	39.542
17.00	0.398	0.164	0.164	0.164	0.89

Tabel 2. Data beban di Jurusan Teknik Elektro pada saat libur pergantian semester

Waktu	Daya Aktif (kW)				Total (kW)
	Ged. DJ	Ged. DH (AC&LCD)	Ged. DH (lampu&stop kontak)	Ged. DI	
8.00	0.223	0	0	0.161	0.384
9.00	0.223	0	0	0.161	0.384
10.00	0.505	0	0	0.161	0.666
11.00	0.505	0	0	0.161	0.666
12.00	0.476	0	0	0.161	0.637
13.00	0.302	0	0	0.16	0.462
14.00	0.302	0	0	0.16	0.462
15.00	0.303	0	0	0.161	0.464
16.00	0.303	0	0	0.162	0.465
17.00	0.239	0	0	0.163	0.402

Jurusan Teknik Elektro memiliki pula generator set yang dipasang untuk memasok daya listrik bila terjadi pemadaman listrik oleh PLN dengan kapasitas terpasang sebesar 60 kVA sedangkan PLTS yang terpasang di Jurusan Teknik Elektro hanya mampu menghasilkan daya listrik sebesar 392.83 Watt, hal ini dikarenakan *PV Module* yang digunakan merupakan *PV Module* bekas sehingga efisiensinya sangat kecil selain itu intensitas matahari rata – rata di Jurusan Teknik Elektro sebesar 5.34 kWh/m²/hari sehingga *PV Module* hanya bekerja sebesar 29.59%.

A. Analisis dengan menggunakan daya output PLTS sesuai hasil pengukuran

Hasil simulasi menunjukkan produksi energi listrik dari PLTS dalam keadaan *on-grid* sebesar 1,016 kWh/tahun dengan presentase sebesar 0.66% dari total produksi energi listrik dengan produksi rata – rata sebesar 2.78 kWh/hari, sedangkan produksi energi listrik dari PLN sebesar 151,897 kWh/tahun dengan presentase sebesar 99.33% dari total produksi energi listrik dengan produksi rata – rata sebesar 416.164 kWh/hari sehingga total keseluruhan produksi energi listrik sebesar 152,914 kWh/tahun atau rata – rata 17.46 kW tiap jamnya dengan beban keseluruhan sebesar 152,877 kWh/tahun.

Dalam keadaan *off-grid*, PLTS dan *generator set* tidak dapat menyuplai seluruh gedung di Jurusan Teknik Elektro. PLTS dan *generator set* hanya dapat menyuplai beban gedung DJ dan DH (beban penerangan dan kotak kontak) dengan produksi energi listrik dari PLTS sebesar 1,016 kWh/tahun dengan presentase sebesar 3.21% dari total produksi energi listrik dengan produksi rata – rata sebesar 2.78 kWh/hari, sedangkan produksi energi listrik dari *generator set* sebesar 30,656 kWh/tahun dengan presentase sebesar 96.79% dari total produksi energi listrik dengan produksi rata – rata sebesar 83.99 kWh/hari sehingga total keseluruhan produksi energi listrik sebesar 31,672 kWh/tahun atau rata – rata 3.61 kW tiap jamnya dengan beban keseluruhan sebesar 31,615 kWh/tahun dengan kelebihan beban yang dihasilkan sebesar 16.8 kWh/tahun. Pengoperasian PLTS selama 4,342 jam/tahun atau 12 jam per hari dan *generator set* selama 8,675 jam/tahun atau 24 jam per hari.

B. Analisis dengan menggunakan daya output PLTS sama dengan total beban maksimal

Pada simulasi ini, kapasitas PLTS sama dengan total beban maksimal di Jurusan Teknik Elektro yaitu 62,676 Watt. Hasil simulasi dalam kondisi *on-grid* menunjukkan produksi energi listrik dari PLTS sebesar 162,483 kWh/tahun dengan presentase sebesar 80.87% dari total produksi energi listrik dengan produksi rata – rata sebesar 445.16 kWh/hari, sedangkan produksi energi listrik dari PLN sebesar 38,437 kWh/tahun dengan presentase sebesar 19.13% dari total produksi energi listrik dengan produksi rata – rata sebesar 105.3 kWh/hari sehingga total keseluruhan produksi energi listrik sebesar 200,920 kWh/tahun atau rata – rata 22.93 kW tiap jamnya dengan beban keseluruhan sebesar 152,877 kWh/tahun, kelebihan daya listrik yang dihasilkan sebesar 41,547 kWh/tahun yang dapat dijual ke PLN.

Kondisi *off-grid*, PLTS dan *generator set* hanya dapat melayani beban gedung DH (beban penerangan dan kotak kontak), gedung DJ dan DI dengan PLTS memproduksi listrik sebesar 162,483 kWh/tahun dengan presentase sebesar 94.49% dari total produksi energi listrik dengan produksi rata – rata sebesar 445.16 kWh/hari, sedangkan produksi energi listrik dari *generator set* sebesar 9,468 kWh/tahun dengan presentase

sebesar 5.51% dari total produksi energi listrik dengan produksi rata – rata sebesar 25.93 kWh/hari sehingga total keseluruhan produksi energi listrik sebesar 171,951 kWh/tahun atau rata – rata 19.62 kW tiap jamnya dengan beban keseluruhan sebesar 76,375 kWh/tahun, kelebihan daya listrik yang dihasilkan sebesar 92,785 kWh/tahun dengan PLTS beroperasi selama 4,342 jam/tahun atau 12 jam per hari dan *generator set* beroperasi selama 5,637 jam/tahun atau 15,4 jam per hari.

PLTS dan *generator set* dapat juga dikondisikan hanya melayani beban gedung DH keseluruhan dan gedung DJ dengan hasil simulasi menunjukkan PLTS memproduksi listrik sebesar 162,483 kWh/tahun dengan presentase sebesar 90.05% dari total produksi energi listrik dengan produksi rata – rata sebesar 445.16 kWh/hari, sedangkan produksi energi listrik dari *generator set* sebesar 17,954 kWh/tahun dengan presentase sebesar 9.95% dari total produksi energi listrik dengan produksi rata – rata sebesar 49.19 kWh/hari, sehingga total keseluruhan produksi energi listrik sebesar 180,437 kWh/tahun atau rata – rata 20.59 kW tiap jamnya dengan beban keseluruhan sebesar 108,124 kWh/tahun, kelebihan daya listrik yang dihasilkan sebesar 68,563 kWh/tahun dengan pengoperasian PLTS selama 4,342 jam/tahun atau 12 jam per hari dan *generator set* bekerja selama 6,393 jam/tahun atau 17.51 jam per hari.

C. Analisis dengan menggunakan daya output PLTS lebih besar dari dari total beban maksimal

Hasil dari simulasi sebelumnya menunjukkan PLTS belum mampu memenuhi semua beban di Jurusan Teknik Elektro, hal ini dikarenakan pengaruh intensitas matahari yang menyebabkan PLTS hanya mampu menghasilkan 29.59% dari kapasitas daya *output* yang dihasilkan. Analisa berikut ini akan menampilkan hasil simulasi konfigurasi *off-grid* dengan menggunakan daya *output* PLTS lebih besar dari nilai total beban maksimal yang terukur pada seluruh gedung di Jurusan Teknik Elektro dengan perhitungan kapasitas PLTS sebagai berikut

- $P_{\text{beban maksimal}} = 62,676 \text{ Watt}$
- $\text{Capacity Factor} = 29.59\% = 0.2959$

$$P_{\text{output PLTS}} = \frac{P_{\text{beban maksimal}}}{\text{Capacity Factor}} = \frac{62,676 \text{ Watt}}{0.2959} = 211,814 \text{ Watt} = 211.81 \text{ kW}$$

Hasil simulasi menunjukkan produksi energi listrik dari PLTS sebesar 549,103 kWh/tahun dengan presentase sebesar 98.46% dari total produksi energi listrik dengan produksi rata – rata sebesar 1,504.4 kWh/hari, sedangkan produksi energi listrik dari *generator set* sebesar 8,598 kWh/tahun dengan presentase sebesar 1.54% dari total produksi energi listrik dengan produksi rata – rata sebesar 23.56 kWh/hari sehingga total keseluruhan produksi energi listrik sebesar 557,701 kWh/tahun atau rata – rata 63.66 kW tiap jamnya dengan beban keseluruhan sebesar 149.224 kWh/tahun, kelebihan

daya listrik yang dihasilkan sebesar 402,619 kWh/tahun dengan pengoperasian PLTS selama 4,342 jam/tahun atau 12 jam per hari dan *generator set* bekerja selama 5,066 jam/tahun atau 13.87 jam per hari.

D. Analisis jumlah PV Module yang diperlukan untuk memenuhi seluruh beban di Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana

Analisis ini akan menghitung jumlah *PV Module* yang harus ditambahkan untuk membuat PLTS dapat memenuhi seluruh beban di Jurusan Teknik Elektro dengan mengasumsikan seluruh *PV Module* menghasilkan tegangan dalam keadaan berbeban (V_{PM}) dan arus dalam keadaan berbeban (I_{PM}) sama dengan nilai tegangan dan arus yang dihasilkan *PV Module* yang terpasang di atap *area internet corner* dalam keadaan berbeban di saat berawan yaitu sebesar 17.92 Volt dan 0.45 A. Rangkaian PLTS di Jurusan Teknik Elektro disusun paralel maka didapatkan perhitungan sebagai berikut, dengan menggunakan nilai beban maksimal

- Tegangan total ($V_{PM \text{ total}}$) = 17.92 Volt
 - Arus per *PV Module* ($I_{PM \text{ PV Module}}$) = 0.45 Ampere
 - $P_{\text{output PLTS}} = 211,814 \text{ Watts}$
- $$I_{PM \text{ total}} = \frac{P_{\text{output PLTS}}}{V_{PM \text{ total}}} = \frac{211,814 \text{ Watt}}{17.92 \text{ Volt}} = 11,819.98 \text{ Ampere}$$

sehingga jumlah *PV Module* yang diperlukan adalah

$$n = \frac{I_{PM \text{ total}}}{I_{PM \text{ PV Module}}} = \frac{11,819.98 \text{ Ampere}}{0.45 \text{ Ampere}} = 26,266.61 \text{ buah} = 26,267 \text{ buah}$$

dengan masing – masing array terdiri dari 12 buah *PV Module* maka jumlah *array* yang terpasang di Jurusan Teknik Elektro adalah sebanyak $\frac{26,267 \text{ buah}}{12} = 2,189 \text{ array}$ dengan rincian seperti yang ditunjukkan tabel 3.

Tabel 3. Perbedaan jumlah *PV Module* sebelum dan sesudah perubahan rangkaian PLTS

Rangkaian	Jumlah <i>PV Module</i> (buah)		Total Tambahan <i>PV Module</i> (buah)
	Sebelum	Sesudah	
Atap	32	48	16
Halaman	16	26,219	26,203
Total	48	26,267	26,219

E. Desain dan prinsip kerja jaringan mikro di Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana

Penggunaan PLTS di Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana masih belum maksimal. PLTS di Jurusan Teknik Elektro hanya memasok beban di *area internet corner* dan hanya sebatas penelitian. Jaringan instalasinya terpisah dengan jaringan MDP. PLTS dapat dijadikan salah satu pemasok listrik di gedung – gedung Jurusan Teknik Elektro dengan membangun sebuah jaringan mikro dengan sistem pembangkit listrik *hybrid*, sehingga ketika terjadi pemadaman listrik oleh PLN, kegiatan perkuliahan tidak mengalami hambatan, karena kontinuitas pasokan listrik terjamin, dengan adanya PLTS dan *generator set* untuk memaksimalkan pasokan listrik.

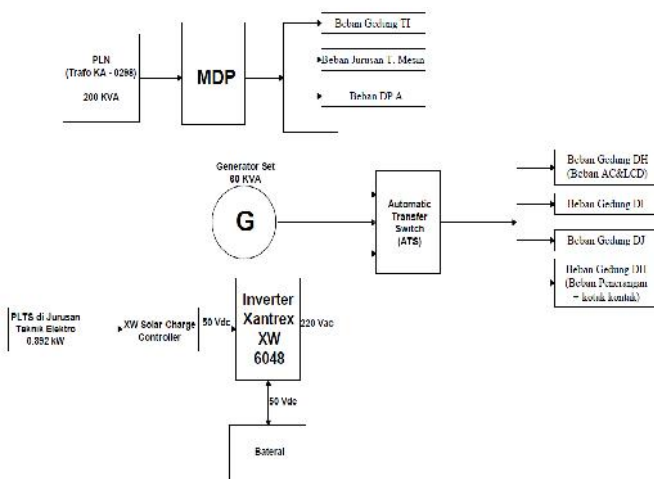
Komponen – komponen yang akan digunakan untuk membangun jaringan listrik mikro di Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana adalah sebagai berikut :

1. Jaringan listrik milik PLN sebesar 200 kVA
2. Pembangkit Listrik Tenaga Surya dengan kapasitas terpasang sebesar 0.392 kW
3. *Generator set* dengan kapasitas sebesar 60 kVA
4. Inverter Xantrex XW 6048

Inverter ini dapat digunakan untuk perumahan, jaringan tersendiri, sebagai jaringan cadangan dan aplikasi *grid* dengan penyimpanan energi baterai dengan tipe *Hybrid Inverter/Charger* yaitu menggabungkan inverter DC ke AC dan *charger* baterai dengan *continuous output power* sebesar 6 kW. Efisiensi dari inverter ini sebesar 92.5% dengan tegangan *input* DC sebesar 50 Volt sedangkan Xantrex XW solar *charge controller* dapat digunakan pada baterai dengan kapasitas 24 Volt dan 48 Volt.

5. ATS (*Automatic Transfer System*)
6. Baterai sebagai media penyimpanan energi listrik.

Komponen – komponen ini selanjutnya dirangkai membentuk jaringan mikro dengan skema seperti yang ditunjukkan gambar 2.



Gambar 2. Skema perancangan jaringan mikro di Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana

Prinsip kerja jaringan listrik mikro ini terbagi menjadi 2 skenario, yaitu dalam keadaan *on-grid* dan *off-grid* dengan prinsip kerja pada saat *on-grid* adalah sebagai berikut :

1. Pasokan daya listrik dalam keadaan *on-grid* akan dilayani oleh jaringan listrik PLN dan PLTS secara bersamaan.
2. Daya yang telah dihasilkan oleh PLTS akan dikirim ke XW solar *charge controller*.
3. XW solar *charge controller* ini mengatur dalam pengisian baterai sehingga tidak mengalami *overcharging* atau kelebihan pengisian baterai dari kapasitas maksimumnya yang dapat merusak atau mengurangi umur pemakaian baterai. Tegangan keluaran dari PLTS akan diubah menjadi tegangan 50 V sesuai dengan tegangan masukan nominal dari inverter Xantrex XW 6048.
4. Daya listrik PLTS yang telah diatur tegangan keluarannya kemudian dikirim ke inverter Xantrex XW 6048. Inverter Xantrex XW 6048 kemudian mengubah tegangan PLTS dari DC menjadi tegangan AC dengan tegangan keluaran inverter menjadi 220 V.
5. Penggunaan inverter Xantrex XW 6048 ini memungkinkan PLTS bekerja memasok daya bersama dengan jaringan listrik PLN atau bekerja dalam keadaan *on-grid* dan bekerja bersama pembangkit lain seperti *generator set*, baik dalam keadaan *on-grid* maupun *off-grid*.
6. Daya yang dihasilkan PLTS yang telah diatur tegangan keluarannya agar sesuai dengan tegangan nominal PLN kemudian disalurkan ke ATS (*Automatic Transfer Switch*) sebelum disalurkan ke masing – masing DP gedung di Jurusan Teknik Elektro.

Sesuai hasil simulasi sebelumnya, diketahui bahwa kapasitas *generator set* dan PLTS saat ini hanya dapat melayani beban gedung DH untuk penerangan dan kotak kontak serta beban gedung DJ sehingga prinsip kerja jaringan listrik mikro pada saat *off-grid* adalah sebagai berikut :

1. Pasokan daya listrik dalam keadaan *off-grid* akan dilayani oleh *generator set* dan dibantu dengan PLTS secara bersamaan.
2. *Switch* ATS yang sebelumnya menyambungkan pasokan daya listrik dari jaringan listrik PLN ke masing – masing DP gedung di Jurusan Elektro akan terbuka jika jaringan listrik PLN padam.
3. *Switch* ATS yang menyambungkan *generator set* dengan masing – masing DP gedung di Jurusan Elektro yang sebelumnya terbuka, akan tertutup ketika jaringan listrik PLN padam sehingga pasokan daya listrik akan dilayani oleh *generator set* dan PLTS.
4. *Switch* untuk DP gedung DI dan gedung DH untuk beban AC dan LCD yang terdapat di ATS akan terbuka sedangkan *switch* untuk DP gedung DJ dan gedung DH untuk beban penerangan dan kotak kontak akan tetap tertutup. Kerja *switch* yang terbuka dan tertutup ini akan diatur oleh PLC yang terdapat pada ATS.
5. *Switch* ATS yang menyambungkan pasokan daya listrik dari jaringan listrik PLN ke masing – masing DP gedung di Jurusan Elektro akan tertutup jika jaringan listrik PLN telah berfungsi kembali dan *switch* ATS untuk *generator*

set akan terbuka sehingga *generator set* akan berhenti bekerja dan akan padam secara otomatis. Pasokan daya listrik kembali dipasok oleh jaringan listrik PLN dan dibantu oleh PLTS.

[5] IEEE 1547-2003 (Revised 2008): *Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems*

V SIMPULAN

Berdasarkan pembahasan dan hasil analisa dari produksi energi listrik yang dihasilkan oleh PLTS di Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana dapat diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Produksi energi yang dihasilkan PLTS sebesar 392.83 Watt, produksi energi listrik tersebut belum mampu melayani seluruh beban listrik di Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana. Berdasarkan simulasi menggunakan *software HOMER Energy*, PLTS hanya mampu melayani beban dalam keadaan *on-grid* sebesar 0.66% dari total produksi energi listrik yang dihasilkan sedangkan dalam kondisi *off-grid* PLTS hanya mampu melayani beban gedung DJ dan gedung DH (beban penerangan dan kotak kontak) sebesar 3.21% dari total produksi energi listrik yang dihasilkan.
2. Kapasitas PLTS yang harus terpasang untuk dapat memenuhi seluruh beban gedung di Jurusan Teknik Elektro adalah sebesar 211,814 Watt dengan presentase sebesar 98.46% dari total produksi energi yang dihasilkan dalam keadaan *off-grid*. Presentase PLTS dalam melayani seluruh beban di Jurusan Teknik Elektro tidak dapat 100% karena PLTS tidak dapat bekerja sendiri dalam sebuah jaringan listrik. Produksi energi listrik dari PLTS sangat bergantung dengan intensitas matahari sedangkan intensitas matahari bersifat fluktuatif atau berubah – ubah dan terkadang perubahannya sangat drastis sehingga untuk menjaga kontinuitas pasokan energi listrik diperlukan sumber pembangkit listrik lainnya sebagai cadangan.
3. Jumlah *PV Module* yang diperlukan untuk dapat melayani seluruh beban di Jurusan Teknik Elektro dengan menggunakan spesifikasi *PV Module* yang ada saat ini adalah sebanyak 26,267 buah. Jumlah ini dipengaruhi oleh kecilnya kapasitas dan efisiensi *PV Module*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ary, G. 2014. “Studi Terhadap Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya 1920 Watt di Universitas Udayana Bukit Jimbaran” (*tugas akhir*). Denpasar: Universitas Udayana
- [2] Isdawimah, Sudiby, U.B., Setiawan, E.A. 2010. Analisis Kinerja Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Pada Model Jaringan Listrik Mikro Arus Searah. *Politeknologi*. Volume 9, Nomer 2.
- [3] Glover, J.D., Sarma, M., Overbye, T. 2011. *Power System Analysis and Design*: Cengage Learning.
- [4] Setiawan, A. 2014. “Analisa Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) 1 MWP Terinterkoneksi Jaringan di Kayubih, Bangli” (*tugas akhir*). Denpasar: Universitas Udayana.