

SIMULASI UNJUK KERJA PLTS 1 MW KAYUBIHI JIKA MENGGUNAKAN SUN TRACKING SYSTEM

I.P.A. Wiranata¹, I.N.S. Kumara², I.W. Sukerayasa³

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana Denpasar – Bali

Email: adiwiranata2708@gmail.com¹, satya.kumara@unud.ac.id², sukerayasa@unud.ac.id³

ABSTRAK

PLTS Kayubihl merupakan PLTS dengan kapasitas 1 MWp. Modul surya PLTS Kayubihl dipasang dalam konfigurasi tetap, dipasang menghadap ke utara dengan sudut kemiringan dari permukaan tanah sebesar 15°. Dalam kondisi tanpa *tracker* PLTS Kayubihl menghasilkan energi tahunan sebesar 1656,2 MWh. Dalam paper ini dilakukan simulasi untuk mengetahui berapa produksi energi PLTS Kayubihl jika ditambahkan *sun tracker system*. Simulasi sistem *tracker* ini dibuat dalam 2 skenario. Skenario 1 menggunakan sistem *single axis tracker* dimana modul surya akan bergerak mengikuti matahari dari timur ke barat. Skenario 2 PLTS Kayubihl dilengkapi dengan sistem *multi axis tracker* yang bergerak mengikuti arah matahari dari timur ke barat dan utara ke selatan. Simulasi menggunakan sistem *single axis tracker* menghasilkan energi tahunan sebesar 2096,1 MWh. Sementara simulasi dengan menggunakan sistem *multi axis tracker* menghasilkan energi tahunan sebesar 2159,8 MWh. Jika dibandingkan dengan kondisi *existing*, penggunaan sistem *single axis tracker* memperoleh kenaikan energi sebesar 439,9 MWh dan jika menggunakan sistem *multi axis tracker* diperoleh kenaikan energi sebesar 503,6 MWh. Perbedaan energi tahunan pada sistem *single axis tracker* dengan sistem *multi axis tracker* sebesar 63,7 MWh. Total biaya pemasangan sistem *single axis tracker* sebesar Rp 560.000.000 sebanyak 70 unit *tracker* dan pemasangan sistem *multi axis tracker* sebesar Rp 700.000.000 sebanyak 70 unit *tracker*. Pada hasil simulasi penjualan energi listrik, sistem *tracker* lebih menguntungkan dari pada sistem tanpa *tracker*.

Kata Kunci : PLTS Kayubihl, Sistem *Single Axis Tracker*, Sistem *Multi Axis Tracker*

ABSTRACT

The Kayubihl PLTS is a PLTS with a capacity of 1 MWp. The Kayubihl PLTS solar module is installed in a fixed configuration, installed facing north with a tilt angle from the ground surface of 15 °. In a condition without a tracker, the Kayubihl PLTS generates an annual energy of 1656.2 MWh. In this paper a simulation will be carried out to find out how much energy the PLTS Kayubihl has when it has a sun tracker system installed. This tracker system simulation will be made in 2 scenarios. Scenario 1 uses a single axis tracker system where the solar module will move to follow the sun from east to west. Scenario 2 Kayubihl PLTS is equipped with a multi axis tracker system that moves in the direction of the sun from east to west and north to south. Simulations using a single axis tracker system produce annual energy of 2096.1 MWh. While simulations using the multi axis tracker system produce an annual energy of 2159.8 MWh. When compared with existing conditions, the use of a single axis tracker system gets an increase in energy of 439.9 MWh and if using a multi axis tracker system an energy increase of 503.6 MWh is obtained. The annual energy difference in the single axis tracker system with the multi axis tracker system is 63.7 MWh. The total cost of installing a single axis tracker system is Rp. 560,000,000 with 70 units of tracker and installing a multi axis tracker system amounting to Rp. 700,000,000. A total of 70 units of tracker. Keywords: Kayubihl PLTS, Single Axis Tracker System, Multi Axis Tracker System. At the results of the simulation of electricity sales, the tracker system is more profitable than the system without a tracker.

Keywords: Kayubihl PLTS, Single Axis Tracker System, Multi Axis Tracker System

1. PENDAHULUAN

Indonesia secara geografis terletak di daerah khatulistiwa yang beriklim tropis sehingga memiliki sumber energi surya yang berlimpah untuk dijadikan energi alternatif. Intensitas radiasi matahari di Indonesia cukup tinggi dengan rata-rata sekitar 4.8 kWh/m² per hari. Ini berarti tiap 1 kW photovoltaic (PV) dapat menghasilkan 4,8 kWh daya listrik setiap harinya. Berlimpahnya energi surya di Negara kita ini merupakan potensi yang seharusnya dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik secara optimal. [1].

Salah satu PLTS *grid-connected* terbesar di Bali adalah PLTS yang terletak di Kabupaten Bangli dengan daya pembangkitan maksimum adalah sebesar 1 MWp. PLTS Kayubih terdiri dari 5.004 buah modul surya, dibagi menjadi 278 *array*, yang masing-masing *array* terangkai dari 18 buah modul surya terhubung seri. Untuk merubah tegangan listrik searah keluaran panel surya menjadi tegangan listrik bolak-balik, dipergunakan *string* inverter sistem 3 phase kapasitas 20 kW sebanyak 50 unit. Berdasarkan penelitian tentang unjuk kerja PLTS Kayubih yang telah dilakukan maka didapatkan potensi optimum energi listrik per tahun yang dihasilkan PLTS Kayubih dari hasil simulasi adalah 1656,2 MWh, dengan PR 83,6 %. Berdasarkan waktu operasi dari 15 Februari s.d. 30 September 2013 produksi real energi listrik PLTS Kayubih adalah 729,08 MWh, dan dengan simulasi PVSyst sebesar 1076,94 MWh, selisih 32,3%. Hal ini disebabkan oleh nilai iradiasi, adanya *shading*, serta gangguan selama waktu operasi PLTS yaitu tripnya MCCB utama panel distribusi akibat hubungan singkat, serta pengaruh iklim dan cuaca serta lingkungan lokasi PLTS terpasang [2].

Salah satu permasalahan dari PLTS adalah modul surya akan menghasilkan daya maksimal pada saat posisi matahari tegak lurus terhadap permukaan modul surya. *Tracker* difungsikan sebagai penggerak modul surya untuk mengikuti arah datangnya sinar matahari. Penggunaan sistem *solar tracker* akan menambah efektifitas modul surya, karena cahaya matahari yang datang dapat diserap secara maksimal oleh modul surya dengan sudut inklinasi sebesar 90°. Sehingga daya terbesar yang dihasilkan oleh modul surya adalah arah radiasi matahari yang tegak lurus dengan bidang solar panel. Jadi *solar tracker* diperlukan untuk

mendapatkan sudut yang benar sesuai dengan arah radiasi matahari yang datang.

Berdasarkan latar belakang di atas dalam paper ini akan dilakukan studi mengenai Simulasi Unjuk Kerja PLTS 1 MW Kayubih Jika Menggunakan *Sun Tracker System*.

2. PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA

2.1. Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Surya

PLTS adalah pembangkit yang mengubah energi foton dari matahari menjadi listrik. Konversi ini terjadi pada panel surya yang terdiri dari sel-sel *photovoltaik*. Sel-sel ini terdiri dari lapisan-lapisan tipis dari silikon (Si) murni dan bahan semi konduktor lainnya [3]. PLTS memanfaatkan energi matahari langsung untuk menghasilkan listrik DC (*Direct Current*) dan dapat diubah menjadi listrik AC (*Alternating Current*) apabila diperlukan, dengan bantuan inverter. Oleh karena itu, selama masih terdapat cahaya, PLTS dapat menghasilkan listrik walaupun cuaca dalam keadaan mendung. PLTS juga dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik yang kecil hingga besar, dapat beroperasi secara mandiri maupun kombinasi dengan sumber energi lain (*hybrid*).

Untuk mengubah modul surya langsung menjadi listrik dapat dilakukan dengan menggunakan modul surya atau *solar cell*. Jika permukaan modul surya terkena sinar matahari, maka akan terjadi perpindahan elektron-elektron yang menyebabkan terjadinya arus listrik. Arus listrik yang dihasilkan oleh modul surya dapat dimanfaatkan langsung atau disimpan dulu dalam baterai untuk selanjutnya digunakan [4] [5].

PLTS merupakan bagian dari sumber energi terbarukan, dimana sinar matahari sebagai sumber energi tidak ada habisnya. Selain itu PLTS merupakan pembangkit listrik yang ramah lingkungan tanpa ada bagian yang berputar, tidak menimbulkan kebisingan dan tanpa mengeluarkan gas buangan/limbah.

2.2. Solar Tracker

Solar tracker merupakan suatu sistem control untuk mengatur pergerakan modul surya selalu tegak lurus terhadap sinar

matahari agar penyerapan sinar matahari lebih maksimal [6].

Sistem *single axis tracker* merupakan sistem di mana modul surya dapat digerakkan dalam satu arah dari timur ke barat mengikuti arah datangnya matahari agar modul surya dapat menyerap sinar matahari secara maksimal.

Sistem *multi axis tracker* merupakan suatu sistem yang dapat mengontrol modul surya dapat bergerak disepanjang arah dari timur ke barat dan utara ke selatan mengikuti pergerakan matahari sehingga modul surya akan selalu tegak lurus dengan arah radiasi matahari dan menerima jumlah maksimum sinar matahari.

2.3. PVSyst

PVSyst merupakan paket *software* atau perangkat lunak yang digunakan untuk proses pembelajaran, pengukuran (*sizing*), dan analisis data dari sistem PLTS secara lengkap, PVSyst dikembangkan oleh Universitas Genewa, yang terbagu kedalam sistem terkoneksi jaringan (*grid-connected*), sistem berdiri sendiri (*stand-alone*), sistem pompa (*pumping*), dan jaringan arus searah untuk transportasi public (DC-grid), PVSyst juga dilengkapi database dari sumber data meteorology yang luas dan beragam, serta data komponen-komponen PLTS [7].

Untuk dapat memprediksi dan menganalisa potensi produksi energi PLTS Kayubih, digunakan fitur desain proyek (*project design*) pada PVSyst. Pada fitur ini simulasi akan dijalankan dengan cara membuat terlebih dahulu desain dari sistem PLTS sesuai dengan sistem terpasang. Langkah dalam membuat desain proyek adalah.

Menetapkan proyek, Dengan cara menetapkan jenis proyek atau jenis PLTS, dalam hal ini dipilih *grid-connected*. Dilanjutkan dengan membuat proyek baru dan mendefinisikan proyek seperti nama proyek, lokasi dan data meteorology.

Menetapkan perbedaan sistem (*system variant*). Dengan cara meneteukan orientasi terlebih dahulu seperti jenis penyangga panel surya, kemiringan panel, dan azimuth, lalu menentukan sistem PLTS, dengan memilih jenis dan jumlah inverter dan modul surya. Selain itu terdapat parameter opsional, seperti pemilihan profil horizon sesuai lokasi, yang dapat ditambahkan dengan impor

data dari *software* lain. Dan Menjalankan simulasi untuk mendapatkan hasil simulasi.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan di PLTS Kayubih Kayubih di Jalan Nusantara, Br. Bangklet, Desa Kayubih, Kecamatan Bangli, Kabupaten Bangli, Provinsi Bali. Adapun data yang diperoleh yaitu: data dari penelitian sebelumnya, data monitoring dari *inverter* yang terekam pada PLTS Kayubih, dan data data rekaman *surface meteorology and solar energy* NASA (PVSyst), data teknis dan karakteristik komponen PLTS.

Data yang diperoleh digunakan sebagai data input pada simulasi *software* PVSyst, dimana data sumber akan dibuat 2 simulasi untuk membandingkan hasil potensi energi listrik pada PLTS.

3.1. Alur Analisis

Alur analisis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data teknis dan hasil monitoring yang terekam dari *inverter* PLTS antara lain parameter listrik, lingkungan dan energi listrik yang dihasilkan.
2. Mengumpulkan data cuaca atau meteorologi dari hasil rekam stasiun cuaca maupun satelit NASA (PVSyst).
3. Menganalisis desain teknis PLTS antara lain letak geografis, kapasitas daya pembangkit, sistem PLTS, dan komponen yang terpasang.
4. Membuat simulasi PLTS Kayubih pada *software* PVSyst
5. Memasukan data letak geografis, kapasitas daya pembangkit, sistem PLTS, dan komponen yang terpasang pada *software* PVSyst
6. Melakukan simulasi PLTS Kayubih pada *software* PVSyst
7. Membuat 2 skenario simulasi PLTS Kayubih antara lain skenario 1 simulasi PLTS Kayubih dengan menggunakan *single axis tracker* dan skenario 2 simulasi PLTS Kayubih menggunakan *multi axis tracker*
8. Memasukan data letak geografis, kapasitas daya pembangkit, dan komponen yang terpasang pada *software* PVSyst
9. Simulasi skenario 1 dan skenario 2 PLTS Kayubih pada *software* PVSyst

10. Membandingkan produksi energi pada simulasi PLTS sistem tracker dengan simulasi PLTS tanpa tracker.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Spesifikasi Teknis PLTS Kayubihi

PLTS Kayubihi merupakan PLTS terbesar di Bali. PLTS Kayubihi terletak di Desa Kayubihi, Kecamatan Bangli, Kabupaten Bangli dengan koordinat -8,35 lintang selatan dan 115,36 bujur timur dan pada ketinggian kurang lebih 872 mdpl. Berdasarkan hasil observasi di lapangan dan hasil penelitian [1]. PLTS Kayubihi ini dibangun di atas lahan dengan luas tanah 1.2 ha dan memiliki kapasitas daya pembangkitan total sebesar 1 MWp.



Gambar 1. PLTS Kayubihi

PLTS Kayubihi terdiri dari 278 *string array* dimana setiap *array* terdiri dari 18 modul surya yang dirangkai seri, dengan kapasitas daya pembangkitan setiap modul adalah 200 Wp. Sistem pembangkitan listrik pada PLTS Kayubihi dibagi menjadi 3 sisi yaitu pada sisi pembangkitan/*array* tegangan nominal adalah 650 Vdc hingga maksimum 1.000 Vdc, daya listrik yang dihasilkan kemudian dikonversikan menjadi tegangan bolak-balik menggunakan *string inverter 3 Phase* dengan nominal tegangan output sebesar 230/400 Vac. Seluruh daya listrik yang dibangkitkan PLTS Kayubihi dihubungkan ke Transformator *Step Up* sebelum disalurkan menuju Jaringan Tegangan Menengah (JTM) PLN 20 kV .

Dalam sistem penyangga tipe tetap panel di posisikan dengan sudut kemiringan dan arah/orientasi yang tetap. Sudut kemiringan dan arah/orientasi disesuaikan berdasarkan lokasi PLTS terpasang. Pada PLTS Kayubihi arah modul surya menghadap ke utara dan posisi panel tidak

dapat diubah. Sistem ini lebih sederhana, murah, dan lebih sedikit perawatannya dari pada sistem *tracker*.

Pada penelitian yang dikerjakan oleh [1] simulasi PVsyst dijalankan menggunakan data standar meteorology, tanpa memperhitungkan factor *shading* yang ada pada lokasi PLTS. Simulasi ini dilakukan untuk menganalisa potensi unjuk kerja PLTS dan produksi energi listrik PLTS Kayubihi, dalam kondisi penyangga tipe tetap (tanpa *tracker*), dengan memperhatikan kondisi geografi, sistem, komponen yang terpasang, orientasi dan iklisasi/kemiringan modul surya pada lokasi PLTS Kayubihi (-8,35 LS, 115,36 BT) yang terletak pada belahan bumi selatan (-8,35 LS) dengan modul surya menghadap ke utara azimuth 0°, dengan kemiringan panel 15° dari permukaan tanah.

Pada penelitian yang dikerjakan oleh [1] memperoleh hasil seperti Tabel 1:

Tabel 1. Hasil Simulasi PLTS Kayubihi tipe modul tetap [1].

Bulan	E_grid (MWh)
Jan	116,0
Feb	112,1
Mar	140,7
Apr	143,2
Mei	149,8
Jun	139,7
Jul	140,6
Agu	150,4
Sep	153,6
Okt	155,1
Nov	131,0
Des	124,0
Per Tahun	1656,2

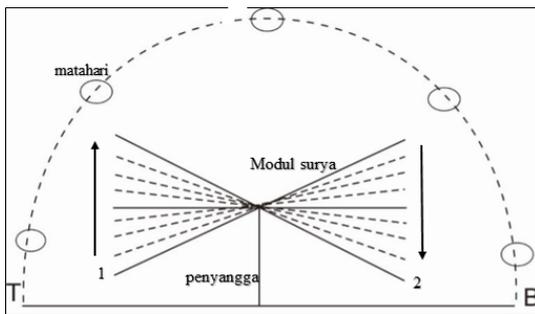
Berdasarkan hasil simulasi PVSyst di atas, PLTS Kayubihi menghasilkan energi listrik sebesar 1656,2 MWh per tahunnya. Dimana hasil produksi energi yang paling rendah pada bulan Februari sebesar 112,1 MWh dan hasil produksi energi yang paling tinggi pada bulan Oktober sebesar 155,1 MWh. Tabel 1 akan digunakan sebagai pembandingan pada paper ini.

4.2. Simulasi PLTS Kayubihi dengan sistem *tracker*

Sistem *tracker* merupakan suatu sistem yang digunakan untuk mengarahkan atau mengontrol modul surya selalu tegak lurus terhadap posisi matahari. Modul surya yang

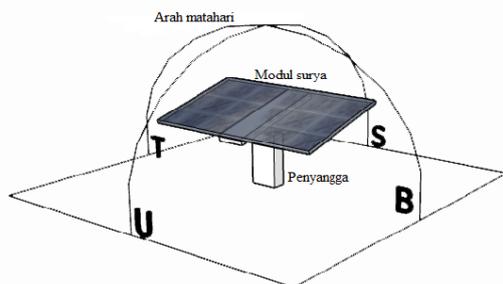
tegak lurus dengan sinar matahari mampu menghasilkan energi listrik secara maksimal. Energi listrik yang dihasilkan pada PLTS Kayubih akan disimulasikan menggunakan software PVSyst.

Pada simulasi PVSyst akan dibuat 2 skenario yaitu skenario 1 merupakan simulasi PLTS Kayubih dengan menggunakan *single axis tracker*. Sistem *single axis tracker* bergerak satu arah dari timur ke barat mengikuti arah pergerakan matahari yang terbit dari timur dan terbenam di barat.



Gambar 2. Pergerakan modul surya sistem *single axis tracker*

Skenario 2 merupakan simulasi PLTS Kayubih dengan menggunakan sistem *multi axis tracker*. Dalam jenis sistem *multi axis tracker*, modul surya dapat bergerak disepanjang arah dari timur ke barat dan utara ke selatan sehingga modul surya akan selalu tegak lurus dengan arah radiasi matahari dan menerima jumlah maksimum sinar matahari.

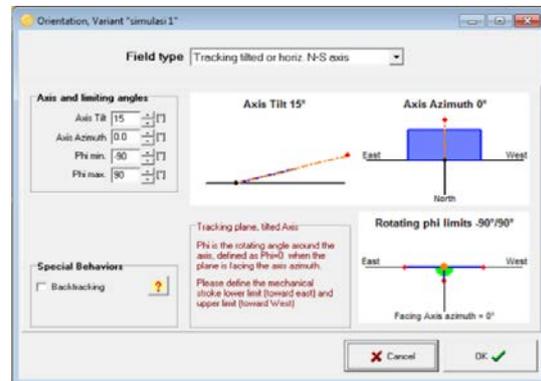


Gambar 3. pergerakan modul surya dari timur ke barat dan utara ke selatan (*multi axis tracker*)

4.3. Simulasi PVSyst PLTS Kayubih skenario 1

Pada simulasi PLTS Kayubih skenario 1 menggunakan tipe penyangga *single axis tracker* atau *tracking title or horiz N-S axis*.

Pada system *single axis tracker* modul surya bergerak sepanjang arah dari timur ke barat dengan kemiringan modul 15° , sudut azimuth 0° (sudut putar), dan batas kemiringan modul surya dari timur ke barat phi min -90° sampai dengan phi max 90° .



Gambar 4. Pengaturan orientasi dan kemiringan panel tipe *single axis tracker*

Hasil simulasi energi listrik yang dibangkitkan PLTS Kayubih skenario 1 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil produksi energi listrik PLTS kayubih skenario 1

Bulan	GlobEff kwh/m ²	E_Array Mwh	E_Grid Mwh	PR
Jan	172,1	145,0	141,7	0,803
Feb	167,6	140,4	137,3	0,800
Mar	215,5	179,8	175,9	0,800
Apr	221,1	184,1	180,2	0,801
May	228,6	189,7	185,6	0,799
Jun	212,9	179,3	175,4	0,811
Jul	215,7	184,6	180,7	0,824
Aug	232,2	196,1	191,9	0,813
Sep	239,0	199,0	194,7	0,802
Oct	249,6	207,6	203,1	0,799
Nov	211,8	177,6	173,8	0,803
Dec	188,0	159,2	155,7	0,808
Year	2554,2	2142,3	2096,1	0,805

Berdasarkan hasil simulasi PVSyst PLTS Kayubih skenario 1 menghasilkan potensi energi listrik sebesar 2096,1 MWh.

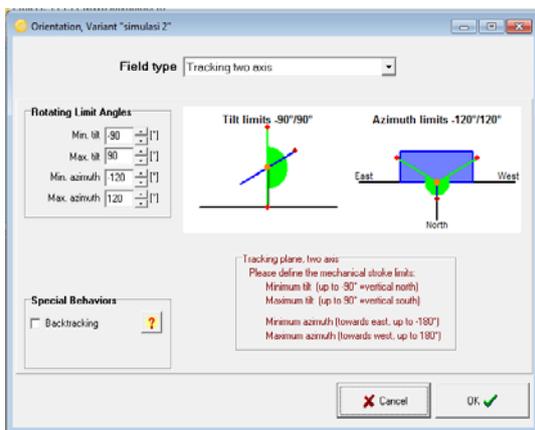
Dimana:

GlobEff : *Effective global, corr. for IAM and shadings*

E Array : Effective energy at the output of the array
 E_Grid : Energy injected into grid
 PR : Performance ratio

4.4. Simulasi PVSyst PLTS Kayubih Skenario 2

Pada simulasi PLTS Kayubih skenario 2 menggunakan tipe penyangga *multi axis tracker*. Pada system *multi axis tracker* modul surya bergerak sepanjang arah dari timur ke barat dan utara ke selatan dengan kemiringan modul 0°, batas kemiringan dari timur ke barat min azimuth -120° dan max azimuth 120°, batas kemiringan dari utara ke selatan min tilt -90° dan max tilt 90°



Gambar 5. Pengaturan orientasi dan kemiringan panel tipe *multi axis tracker*

Hasil simulasi energi listrik yang dibangkitkan PLTS Kayubih skenario 2 dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil produksi energi listrik PLTS kayubih skenario 2

Bulan	GlobEff kwh/m ²	E_Array Mwh	E_Grid Mwh	PR
Jan	186,2	154,0	150,6	0,793
Feb	173,9	144,6	141,4	0,796
Mar	217,4	181,1	177,1	0,800
Apr	222,9	185,3	181,3	0,796
May	235,8	194,3	190,1	0,805
Jun	224,5	187,0	183,0	0,820
Jul	225,7	191,7	187,6	0,812
Aug	236,1	198,8	194,5	0,812
Sep	239,8	199,5	195,3	0,803
Oct	256,3	211,9	207,4	0,797
Nov	227,1	187,5	183,4	0,794
Dec	207,5	171,8	168,0	0,795

Year	2653,4	2207,5	2159,8	0,801
------	--------	--------	--------	-------

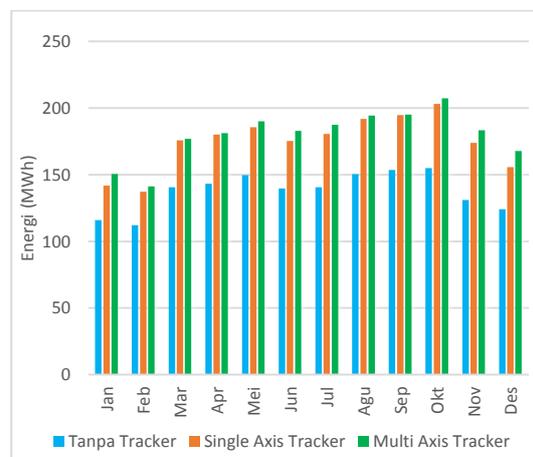
Berdasarkan hasil simulasi PVSyst skenario 2 PLTS Kayubih menghasilkan potensi energi listrik sebesar 2159,8 MWh.

4.5. Perbandingan hasil simulasi PVSyst PLTS Kayubih E_Grid Tetap, Skenario 1 dan Skenario 2

Perbandingan hasil simulasi PVSyst PLTS Kayubih E_grid tetap (tanpa *tracker*), E_grid skenario 1 (*single axis tracker*) dan E_grid skenario 2 (*multi axis tracker*) dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan hasil pembangkitan energi listrik simulasi Tanpa *Tracker*, *Single Axis Tracker*, *Multi Axis Tracker*

Bulan	Tanpa Tracker (MWh)	Single Axis Tracker (MWh)	Multi Axis Tracker (MWh)
Jan	116,0	141,7	150,6
Feb	112,1	137,3	141,4
Mar	140,7	175,9	177,1
Apr	143,2	180,2	181,3
Mei	149,8	185,6	190,1
Jun	139,7	175,4	183,0
Jul	140,6	180,7	187,6
Agu	150,4	191,9	194,5
Sep	153,6	194,7	195,3
Okt	155,1	203,1	207,4
Nov	131,0	173,8	183,4
Des	124,0	155,7	168,0
Total	1656,2	2096,1	2159,8



Gambar 6. Grafik perbandingan pembangkitan energi listrik simulasi Tanpa Tracker, Single Axis Tracker, Multi Axis Tracker.

Berdasarkan Tabel 4. dapat dilihat hasil perbandingan produksi energi listrik pada simulasi PVSyst PLTS Kayubih E_grid tetap (tanpa tracker), E_grid skenario 1 (*single axis tracker*) dan E_grid skenario 2 (*multi axis tracker*). Dapat diketahui bahwa PLTS Kayubih pada simulasi E_grid tetap (tanpa tracker) menghasilkan energi listrik sebesar 1656,2 MWh. Pada simulasi skenario 1 (*single axis tracker*) PLTS Kayubih menghasilkan energi listrik sebesar 2096,1 MWh dan pada simulasi skenario 2 (*multi axis tracker*) PLTS Kayubih menghasilkan energi listrik sebesar 2159,8 MWh. Perbedaan besaran hasil energi adalah karena pada simulasi skenario 2 (*multi axis tracker*) modul surya bergerak sepanjang arah dari timur ke barat dan utara ke selatan sehingga modul surya menyerap sinar matahari lebih maksimal.

4.6. Perbandingan hasil penjualan energi listrik PLTS sistem tracker dan tanpa tracker.

Berdasarkan Tabel 4. dapat dilihat bahwa energi listrik per tahun yang dihasilkan E_grid tetap adalah sebesar 1656,2 MWh, E_grid skenario 1 adalah sebesar 2096,1 MWh, dan E_grid skenario 2 adalah sebesar 2159,8 MWh. Harga jual listrik sebesar Rp 750 per kWh, Harga *single axis tracker* adalah Rp 8.000.000 dan harga *multi axis tracker* adalah Rp 10.000.000. Dengan pemasangan tracker sebanyak 70 unit tracker maka perbandingan hasil penjualan energi PLTS sistem tracker dan tanpa tracker dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan hasil penjualan energi listrik PLTS sistem tracker dan tanpa tracker

	Total Energi/Tahun (Kwh)	Harga Jual Listrik (Rp/Kwh)	Hasil / Tahun	Harga Tracker	Hasil Penjualan Energi Listrik Tahun Pertama
Tanpa Tracker	1656200	Rp 750	Rp 1.242.150.000	Rp -	Rp 1.242.150.000
Single Axis Tracker	2096100	Rp 750	Rp 1.572.075.000	Rp 560.000.000	Rp 1.012.075.000
Multi Axis Tracker	2159800	Rp 750	Rp 1.619.850.000	Rp 700.000.000	Rp 919.850.000

Berdasarkan Tabel 5. dapat dilihat hasil perbandingan penjualan energi listrik sistem tracker dan tanpa tracker. Hasil penjualan energi listrik ditahun pertama pada E_grid tetap (tanpa tracker) adalah sebesar Rp 1.242.150.000. Hasil penjualan energi listrik

ditahun pertama pada E_grid skenario 1 adalah sebesar Rp 1.012.075.000 Hasil penjualan energi listrik ditahun pertama pada E_grid skenario 2 adalah sebesar Rp 919.850.000 Jika dilihat dari hasil penjualan energi listrik pada tahun pertama, E_grid tetap (tanpa tracker) menghasilkan penjualan paling tinggi itu dikarenakan pada sistem tracker sebagian dari hasil penjualan energi listriknya digunakan untuk pembelian tracker.

Tabel 6. Hasil penjualan energi listrik selama 15 tahun

Tahun	Tanpa Tracker	Single Axis Tracker	Multi Axis Tracker
1	Rp 1.242.150.000	Rp 1.012.075.000	Rp 919.850.000
2	Rp 2.484.300.000	Rp 2.314.975.000	Rp 2.261.975.000
3	Rp 3.726.450.000	Rp 3.617.875.000	Rp 3.604.100.000
4	Rp 4.968.600.000	Rp 4.920.775.000	Rp 4.946.225.000
5	Rp 6.210.750.000	Rp 6.223.675.000	Rp 6.288.350.000
6	Rp 7.452.900.000	Rp 7.526.575.000	Rp 7.630.475.000
7	Rp 8.695.050.000	Rp 8.829.475.000	Rp 8.972.600.000
8	Rp 9.937.200.000	Rp 10.132.375.000	Rp 10.314.725.000
9	Rp 11.179.350.000	Rp 11.435.275.000	Rp 11.656.850.000
10	Rp 12.421.500.000	Rp 12.738.175.000	Rp 12.998.975.000
11	Rp 13.663.650.000	Rp 14.041.075.000	Rp 14.341.100.000
12	Rp 14.905.800.000	Rp 15.343.975.000	Rp 15.683.225.000
13	Rp 16.147.950.000	Rp 16.646.875.000	Rp 17.025.350.000
14	Rp 17.390.100.000	Rp 17.949.775.000	Rp 18.367.475.000
15	Rp 18.632.250.000	Rp 19.252.675.000	Rp 19.709.600.000

Berdasarkan Tabel 6. dapat dilihat bahwa selama jangka waktu 15 tahun, terjadi perubahan yang sangat signifikan antara sistem E_grid tetap (tanpa tracker), sistem E_grid skenario 1 (*single axis tracker*) dan sistem E_grid skenario 2 (*multi axis tracker*). Jika dilihat pada tahun pertama hasil penjualan energi E_grid tetap (tanpa tracker) adalah yang paling besar diantara dua sistem lainnya, itu dikarenakan E_grid skenario 1 (*single axis tracker*) dan E_grid skenario 2 (*multi axis tracker*) harus membayar pembelian tracker pada tahun pertama. Namun dari tahun kelima sampai dengan tahun kelima belas, terlihat bahwa penjualan energi listrik menggunakan sistem E_grid skenario 2 (*multi axis tracker*) melampaui penjualan energi listrik tanpa tracker. Dari hal tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan sistem tracker merupakan sarana yang efektif untuk meningkatkan penjualan energi listrik pada PLTS.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan ini dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

Produksi energi listrik E_grid skenario 1 (*single axis tracker*) pada simulasi PVSyst sebesar 2096,1 MWh per tahun, E_grid skenario 2 (*multi axis tracker*) sebesar 2159,8 MWh per tahun, sedangkan E_grid tetap (tanpa *tracker*) menghasilkan energi listrik sebesar 1656,2 MWh. Penggunaan *multi axis tracker* menghasilkan energi listrik paling besar dibandingkan dengan *single axis tracker* dan tanpa *tracker*. Karena pada simulasi skenario 2 (*multi axis tracker*) modul surya bergerak sepanjang arah dari timur ke barat dan utara ke selatan sehingga modul surya dapat menyerap sinar matahari lebih maksimal.

Jika dilihat dari hasil penjualan energi listrik selama kurun waktu 15 tahun, keuntungan pengguna sistem tracker baru terlihat setelah tahun ke 5 penggunaan sistem tracker dibandingkan tanpa tracker, sehingga dilihat dari panjangnya jangka waktu penggunaan, pemanfaatan *tracker* dinilai lebih efektif dan efisien dalam membantu penyerapan sinar matahari, karena dengan penyerapan sinar matahari yang maksimal akan menyebabkan produksi energi yang dihasilkan modul surya semakin besar dan hal itu berbanding lurus dengan hasil penjualan energi listrik yang seiring waktu akan semakin meningkat.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] “ Energy Outlook 2013, “ *Kementrian Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia*, p. 35, 2013.
- [2] Setiawan, I. K. A., Kumara, I. N. S. and Sukerayasa, I. W. “Analisis Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLts) Satu MWP Terinterkoneksi Jaringan di Kayubih, Bangli,” *Maj. Ilm. Teknol. Elektro*, vol. 13, no. 1.2014, 2014.
- [3] ABB, 2010. *Technical Application Paper No.10 Photovoltaic Plants*. s.l.:s.n.
- [4] Kadir, A., 2010. *Energi Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi Ekonomi*. Edisi 3 ed. jakarta: Universitas Indonesia.
- [5] Boxwell, M., 2009. Solar Electricity Handbook. In: *A Simple, Practical Guide to Solar Energy-Designing and Installing Photovoltaic Solar Electric Systems*. 2nd edition. ed. s.l.:Warwickshire: Code Green Publishing
- [6] Benny, I.M., Swamardika, I. B. A. & Wijaya, I. W. A., 2015. Rancang Bangun Sistem Tracking Panel Surya Berbasis Mikrokontroler Arduino. *E-Journal SPEKTRUM*, 2(2), pp. 115-120.
- [7] PVSyst, *PVSYST User,s Manual*, http://www.pvsyst.com/images/pdf/PVsyst_Tutorials.pdf.