

**PERANCANGAN PLTS UNTUK MENYUPLAI DAYA PADA PROSES ELEKTROLISIS DALAM KEBUTUHAN HIDROGEN****Rian Pambudi<sup>1</sup>, Gunawan<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup> Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung<sup>1,2</sup> Jl. Kaligawe Raya No.KM, RW.4, Terboyo Kulon, Kec. Genuk, Kota Semarang, Jawa Tengah 50112<sup>1</sup> [rianpambudi@gmail.com](mailto:rianpambudi@gmail.com)**Abstract (English)**

The necessity for clean and renewable energy is on the rise, coinciding with global initiatives to curtail carbon emissions. One potential solution is the production of hydrogen through a water electrolysis process using renewable energy sources, such as solar power plants (PLTS). The objective of this study is to design a PLTS system that can supply power optimally for HHO generators, which are capable of producing environmentally friendly hydrogen. The methods employed in this study encompass the collection of data on the intensity of solar irradiation, the calculation of power requirements for the electrolysis process, the selection of the primary components of the PLTS system, such as solar panels and MPPT, and the analysis of the system's performance. In addition, an analysis of the system's performance was conducted. The design results demonstrate that the designed PLTS system is capable of meeting the power requirements for the electrolysis process under specific solar radiation conditions. The HHO generator has been demonstrated to achieve a gas production rate of up to 0.908 grams per minute, with voltage and current parameters remaining within the prescribed operational limits. This research is expected to serve as a foundational element in the development of an efficient and sustainable renewable energy system, thereby contributing to the promotion of the green energy transition.

**Article History**

Submitted: 5 Juni 2025

Accepted: 8 Juni 2025

Published: 9 Juni 2025

**Key Words**

Sentiment Analysis, Naive Bayes, and Support Vector Machine (SVM).

**Abstrak (Indonesia)**

Kebutuhan akan energi bersih dan terbarukan semakin meningkat seiring dengan upaya global dalam mengurangi emisi karbon. Salah satu solusi yang potensial adalah produksi hydrogen melalui proses elektrolisis air menggunakan sumber energi terbarukan, seperti Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Dalam penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem PLTS yang mampu menyuplai daya secara optimal untuk generator HHO yang memproduksi hydrogen yang ramah lingkungan. Metode yang digunakan meliputi pengumpulan data intensitas radiasi matahari, perhitungan kebutuhan daya untuk proses elektrolisis, pemilihan komponen utama sistem PLTS seperti panel surya, MPPT dll. Serta analisis performa sistem yang dibuat. Hasil perancangan menunjukkan bahwa sistem PLTS yang dirancang mampu memenuhi kebutuhan daya untuk proses elektrolisis dalam kondisi radiasi matahari tertentu. Generator HHO mampu menghasilkan laju produksi gas hingga 0,908 gr/menit dengan tegangan dan arus yang terjaga dalam batas kerja yang telah direncanakan. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar bagi pengembangan sistem energi terbarukan yang efisien dan berkelanjutan dalam mendukung transisi energi hijau.

**Sejarah Artikel**

Submitted: 5 Juni 2025

Accepted: 8 Juni 2025

Published: 9 Juni 2025

**Kata Kunci**

PLTS, elektrolisis, hydrogen, generator HHO, MPPT

**PENDAHULUAN**

Kebutuhan akan energi bersih dan terbarukan terus meningkat seiring dengan krisis energi global dan dampak lingkungan dari penggunaan bahan bakar fosil. Penggunaan energi fosil yang berlebihan menyebabkan emisi gas rumah kaca yang signifikan, memperparah perubahan iklim dan menurunkan kualitas lingkungan hidup. Salah satu solusi yang berkembang adalah penggunaan energi surya sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, melimpah, dan berkelanjutan. Teknologi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) memungkinkan konversi energi matahari menjadi energi listrik tanpa menghasilkan

emisi karbon, menjadikannya solusi yang ideal dalam mendukung transisi energi hijau. Salah satu pemanfaatan energi listrik dari PLTS adalah dalam proses elektrolisis air untuk memproduksi gas hidrogen, yang kemudian digunakan sebagai bahan bakar alternatif masa depan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini difokuskan pada perancangan sistem PLTS untuk menyuplai daya secara mandiri pada proses elektrolisis air menggunakan generator HHO tipe wet cell. Permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini meliputi: bagaimana merancang sistem PLTS berkapasitas  $\pm 400$  watt yang mampu menyuplai kebutuhan daya proses elektrolisis selama 6 jam operasi; bagaimana pengaruh parameter teknis seperti efisiensi panel, kapasitas baterai, dan karakteristik iradiasi matahari terhadap performa sistem, serta bagaimana efisiensi sistem dalam menghasilkan gas HHO.

Agar penelitian lebih terarah, pembahasan dibatasi pada perancangan sistem PLTS off-grid dengan kemiringan panel surya  $11^\circ$ , penggunaan jenis generator HHO tipe *wet cell* dengan pelat elektroda stainless steel 304 berjumlah 24 buah, dan elektrolit berupa larutan KOH. Variasi jenis elektrolit, aplikasi gas HHO pasca-produksi, serta efisiensi mesin pembakaran tidak dibahas dalam penelitian ini.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan merealisasikan sistem PLTS yang mampu menyediakan energi listrik yang stabil dan efisien untuk proses elektrolisis air, mengukur performa sistem terhadap laju aliran gas HHO, serta menganalisis efisiensi konversi energi listrik menjadi energi kimia. Penelitian ini juga membandingkan suplai langsung dari PLTS dengan suplai yang menggunakan bantuan baterai.

Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan solusi praktis dalam pemanfaatan energi terbarukan untuk produksi bahan bakar alternatif, serta menjadi kontribusi ilmiah dalam pengembangan teknologi PLTS dan sistem elektrolisis air. Penelitian ini juga diharapkan menjadi referensi bagi mahasiswa atau peneliti lain yang tertarik pada pengembangan sistem energi hijau.

## TINJAUAN PUSTAKA/ LANDASAN TEORI

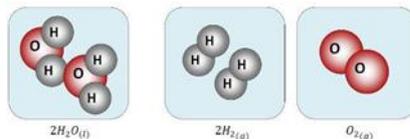
### A. Gas HHO

Gas HHO merupakan gas hasil dari proses pemecahan molekul air murni ( $H_2O$ ) dengan proses elektrolisis. Gas yang dihasilkan dari proses elektrolisis air tersebut adalah gas hidrogen dan oksigen, dengan komposisi 2 Hidrogen dan 1 Oksigen.

Gas HHO terdiri dari gas Hidrogen dan Oksigen, dengan perbandingan komposisi mol 2:1. Perbandingan ini adalah perbandingan yang stoikiometri untuk terjadinya reaksi pembakaran (oksidasi) gas hidrogen oleh gas oksigen. Sebagaimana dapat dilihat pada persamaan reaksi kimia berikut ini:



Jika pada proses elektrolisis air bertujuan untuk memecah molekul air membutuhkan energi, maka sebaliknya pada reaksi oksidasi hidrogen melepaskan sejumlah energi. Reaksi ini adalah kebalikan dari proses elektrolisis air yang memerlukan energi. Gas hidrogen mempunyai beberapa karakteristik yaitu tidak berwarna, mudah terbakar, dan sangat ringan. Gas HHO tidak akan terbakar tanpa sumber panas[1].



**Gambar 1.** Skema pemecahan molekul air  
**Tabel 1.** Properti gas hidrogen

Reference temperature	68 °F /528 °R	293 K
Standard pressure (1 atm) psia	14.69 psia	101.325 kPa (abs)
Density (at 528 °R and 1 atm)	0.00523 lb/ft <sup>3</sup>	83.7 g/m <sup>3</sup>
Specific volume (at 528 °R and 1 atm)	191.4 ft <sup>3</sup> /lb	0.0119 m <sup>3</sup> /g
Specific heat	Cp = 3.425 Btu/lb-R Cv = 2.419 Btu/lb-R	Cp = 14.33 J/g-K Cv = 10.12 J/g-K
Velocity of sound	4246 ft/sec	1294 m/sec
Heat of combustion	Low = 51596 Btu/lb High = 61031 Btu/lb	Low = 119.kJ/g High = 141.86 kJ/g
Flammability limits		
Hydrogen-air mixture	Lower = 4.0 vol%	Upper = 75 vol%
Hydrogen-oxygen mixture	Lower = 4.0 vol%	Upper = 90 vol%
Explosive limits		
Hydrogen-air mixture	Lower = 18.3 vol%	Upper = 59 vol%
Hydrogen-oxygen mixture	Lower = 15.0 vol%	Upper = 95 vol%
Minimum spark ignition energy at 1 atm		
In air	$1.9 \times 10^{-5}$ Btu	0.02 mJ
In oxygen	$6.6 \times 10^{-5}$ Btu	0.007 mJ

### B. Generator HHO

Secara umum generator gas HHO tersusun atas 2 komponen dasar, yaitu tabung generator HHO dan sumber pecatu dayanya. Tabung generator HHO terdiri tabung, sepasang elektroda stainless stel dan elektrolit untuk proses elektrolisis.

Prinsip kerja generator gas HHO berdasarkan elektrolisa air. Proses elektrolisis air pada generator gas HHO menghasilkan gas hidrogen dan oksigen. Hasil dari penelitian, sebagian ahli menyebutkan bahwa gas yang tercipta akan berikatan satu sama lain menjadi gas HHO. Gas HHO terdiri dari dua ion H<sup>+</sup> yang berikatan magnetik (ikatan magnetik) dan mengikat satu ion O<sup>2-</sup>.

Generator gas HHO bekerja berdasarkan prinsip elektrolisis air untuk menghasilkan gas hidrogen dan oksigen. Beberapa penelitian menduga gas hasil proses ini berikatan membentuk senyawa gas HHO dengan struktur berbeda dari H<sub>2</sub>O, yakni terdiri atas dua ion H<sup>+</sup> yang secara magnetis mengikat satu ion O<sup>2-</sup>. Namun, klaim struktur ini masih diperdebatkan secara ilmiah karena belum adanya bukti empiris yang mendukung keberadaan ikatan tersebut. Oleh karena itu, dalam penelitian ini diasumsikan bahwa gas hidrogen dan oksigen yang dihasilkan tidak saling berikatan, dan campurannya tetap disebut sebagai gas HHO.

Proses elektrolisis air dapat menghasilkan sekitar 1.750liter gas HHO dari setiap 1 liter air, sehingga air berpotensi menjadi sumber bahan bakar alternatif berbasis gas secara on-demand tanpa kebutuhan penyimpanan bertekanan tinggi, yang sekaligus menekan risiko kebocoran dan ledakan. Berdasarkan standar hasil penelitian Faraday, untuk memperoleh 1 liter gas HHO per jam diperlukan suplai daya 2,36watt atau setara dengan laju produksi 16,6 cc/menit, yang menjadi acuan produktivitas sistem sebesar 100%. Agar proses elektrolisis berjalan optimal, luas permukaan pelat elektroda disesuaikan dengan kebutuhan arus, di mana setiap 1 cm<sup>2</sup> memerlukan 0,24 ampere dan 1 ampere arus membutuhkan luas pelat 4 cm<sup>2</sup>. Setiap

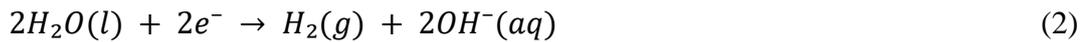
sel elektrolisis membutuhkan tegangan minimal 1,23volt untuk memulai reaksi, namun secara praktis tegangan operasional maksimum yang disarankan adalah 2volt guna mencegah peningkatan suhu berlebihan yang dapat menurunkan efisiensi sistem[2].



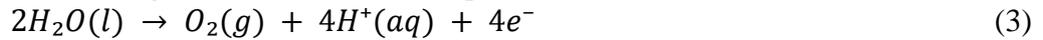
**Gambar 2.** Generator HHO dengan elektroda berbentuk susunan pelat

### C. Laju Aliran Produksi Gas HHO

Laju aliran gas HHO, yakni campuran hidrogen dan oksigen yang dihasilkan melalui proses elektrolisis air, merupakan parameter penting yang menunjukkan volume gas yang dihasilkan per satuan waktu. Proses elektrolisis berlangsung ketika arus listrik dialirkan melalui air yang telah ditambahkan elektrolit, sehingga memicu reaksi kimia pada masing-masing elektroda. Pada katoda, terjadi reaksi reduksi berupa



sedangkan pada anoda terjadi reaksi oksidasi berupa



Semakin besar arus yang diberikan dan semakin tinggi konsentrasi elektrolit, maka produksi gas akan meningkat seiring dengan meningkatnya konduktivitas larutan dan efisiensi reaksi elektrolisis, sesuai dengan prinsip Hukum Faraday. Selain itu, penggunaan elektroda dengan luas permukaan yang lebih besar dan pada suhu larutan yang lebih tinggi juga dapat meningkatkan laju pembentukan gas HHO. Dalam praktiknya, laju aliran gas ini dapat diukur berdasarkan volume gas yang dihasilkan dalam satuan waktu, misalnya dengan flow meter atau menggunakan metode pengukuran displacement air.

Hasil utama proses elektrolisis air menggunakan generator HHO adalah gas HHO itu sendiri. Oleh karena itu, untuk mengevaluasi kinerja dari generator HHO, diperlukan data mengenai laju produksi gas HHO yang dihasilkan selama proses elektrolisis berlangsung. Untuk menghitung mass flowmeter gas HHO ( $m_{HHO}$ ) dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$m_{HHO} = Q \times \rho \tag{4}$$

Keterangan:

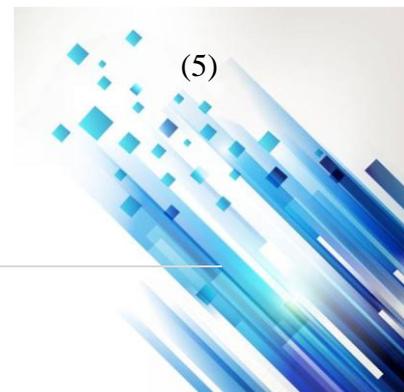
- $m_{HHO}$  : laju produksi gas HHO (kg/s)
- Debit (Q) : debit produksi gas HHO (m<sup>3</sup>/s)
- $\rho$  : massa jenis (HHO) (kg/m<sup>3</sup>)

Untuk menghitung debit gas HHO:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Keterangan:

- V : volume gas HHO terukur (m<sup>3</sup>)
- t : waktu produksi gas HHO (s)

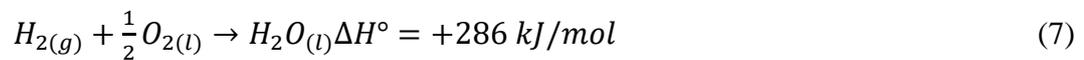


**D. Efisiensi Generator HHO**

Efisiensi merupakan perbandingan antara energi output yang dimanfaatkan dengan total energi input pada suatu sistem, sehingga menjadi indikator utama efektivitas kinerja perangkat konversi energi.

$$\eta = \frac{\text{energi yang berguna(output)}}{\text{energi yang dihasilkan(input)}} \times 100\% \quad (6)$$

Gas HHO memiliki nilai kalor yang tinggi sehingga berpotensi meningkatkan efisiensi pembakaran pada mesin pembakaran dalam, dengan karakteristik yang serupa gas hidrogen sebagai komponen utamanya. Nilai energi ini dapat dianalisis melalui perubahan entalpi pembakaran standar, yaitu selisih entalpi antara reaktan dan produk dalam reaksi kimia pada kondisi standar (298 K, 1 atm). Entalpi (H) sendiri merupakan total energi suatu zat, termasuk energi potensial dan kinetik, dan perubahan entalpi ( $\Delta H$ ) terjadi selama proses penyerapan atau pelepasan kalor dalam suatu reaksi, yang biasanya dinyatakan dalam satuan joule atau kilojoule per mol reaktan.



Reaksi elektrolisis air bersifat endoterm dengan perubahan entalpi positif (+286 kJ/mol), memerlukan suplai energi, sedangkan reaksi oksidasi hidrogen bersifat eksoterm dan melepaskan energi. Energi ikatan dapat ditentukan dengan menurunkan persamaan gas ideal pada kondisi standar temperatur dan tekanan (STP), yang dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$PV = \frac{n}{R} \cdot T \quad (8)$$

Keterangan:

P	: tekanan gas ideal	(atm)
V	: volume gas terukur	(liter)
n	: molaritas senyawa	(mol)
R	: konstanta gas ideal	(liter atm/mol K)
T	: temperature	(K)

Massa H<sub>2</sub> dalam gas HHO hanya sebesar 1/9 masa total gas HHO, maka NKB gas HHO adalah 1/9 kali NKB gas H<sub>2</sub> yaitu  $\frac{1}{9} \times 119,93 \text{ kJ/g} = 13,325 \text{ kJ/g}$  atau  $3812,754 \text{ kkal/kg}$ . Jika pada STP massa jenis H<sub>2</sub> diketahui sebesar  $0,08235 \text{ gr/liter}$  dan O<sub>2</sub> sebesar  $1,3088 \text{ gr/liter}$ , maka efisiensi generator HHO dapat dinyatakan dengan persamaan (9)[3].

$$\eta = \Delta hf \cdot n \cdot t \cdot V \cdot I \cdot t \times 100 \div \quad (9)$$

Keterangan:

$\eta$	: efisiensi (%)
$\Delta hf$	: (+286 kJ/mol)
n	: molaritas senyawa per waktu (mol/s)
V	: tegangan listrik (V)
I	: arus listrik (A)
t	: waktu operasi (s)

## E. Sumber Energi Listrik dengan Menggunakan PLTS

## 1. Energi Matahari

Energi surya atau energi matahari dalam pemanfaatannya dapat dibedakan tiga cara. Pertama adalah prinsip pemanasan langsung. Kedua pemanfaatan sinar matahari untuk memanasi suatu medium dengan menggunakan kolektor surya. Dan cara ketiga adalah sinar atau energi matahari dikonversi menjadi energi listrik menggunakan sel surya (*solar cell*)[1].

## 2. Konfigurasi Modul Surya

Panel surya adalah kumpulan sel surya yang disusun untuk menyerap sinar matahari secara efisien, sel surya itu sendiri yang berfungsi untuk menyerap sinar matahari, sel surya terdiri dari berbagai komponen photovoltaic, atau komponen yang dapat mengubah cahaya matahari menjadi energi listrik, secara umum sel surya terdiri dari lapisan silikon semikonduktor, metal, non reflektif dan strip konduktor metal.

Dalam merencanakan pembangunan pembangkit listrik tenaga surya, penting untuk mengetahui jumlah energi yang akan dihasilkan oleh sistem tersebut. Selain itu, agar pemasangan modul surya sesuai dengan lokasi yang dipilih, perlu diketahui luas array modul yang akan dipasang. Luas array modul surya ini dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut[4]:

$$P_{saat\ t\ naik} = 0,5 \% \times P_{mpp} \times \text{kenaikan suhu} \quad (10)$$

$$P_{mpp\ o_c} = P_{mpp} - P_{o_c} \quad (11)$$

$$TCF = \frac{P_{mpp\ t}}{Gsr \times TCF \times \eta_{PV} \times \eta_{ef}} \quad (12)$$

$$PV\ Area = \frac{EL}{Gsr \times TCF \times \eta_{PV} \times \eta_{ef}} \quad (13)$$

Keterangan:

$P_{mpp}$  : Daya keluaran maksimal dari panel surya

$P_{o_c}$  : Daya pada saat naik dari suhu standar

TCF : Temperature Correction Faktor

EL : Energi yang dibangkitkan (kWh/hari)

PV Area : Luas permukaan panel surya ( $m^2$ )

Gsr : Intensitas matahari harian ( $kW/m^2/hari$ )

$\eta_{pv}$  : Efisiensi panel surya (%)

$\eta_{ef}$  : Efisiensi keluaran (%)

Menghitung daya yang akan dihasilkan. Besarnya daya ini dapat ditentukan menggunakan persamaan (14).

$$P_{wattpeak} = PV\ Area \times PSI \times \eta_{PV} \quad (14)$$

Keterangan:

$P_{wattpeak}$  : Besar daya yang akan terbangkitkan (W)

PV Area : Luas total permukaan panel surya ( $m^2$ )

PSI : Peak solar insolation ( $1000\ W/m^2$ )

$\eta_{PV}$  : Efisiensi Panel surya (%)

menentukan jumlah panel dengan persamaan (15).

$$\text{Jumlah Panel} = \frac{\text{wattpeak}}{P_{\max}} \quad (15)$$

Keterangan:

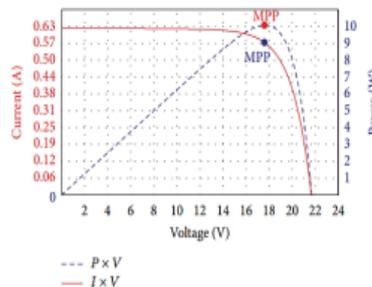
Wattpeak : Daya yang akan dibangkitkan PLTS (W)

$P_{\max}$  : Kapasitas daya maksimal panel surya (W)

Efisiensi maksimum modul surya dicapai apabila modul terpapar sinar matahari dengan sudut kemiringan  $90^0$ .

### 3. Maximum Power Point Tracking (MPPT)

Sistem MPPT bekerja dengan cara memaksa panel surya untuk bekerja pada titik daya minimum, sehingga daya yang mengalir pada beban adalah daya maksimalnya, pada dasarnya digunakan DC-DC converter dalam sebuah sistem MPPT untuk menggeser daya operasi dari panel surya menjadi titik daya maksimalnya[5].



**Gambar 2.** Kurva I-V dan P-V (kurva karakteristik) suatu panel surya

Untuk menghitung short circuit dari modul surya, arus minimum dari solar charge controller serta *safety factor* yang bernilai 1.2 – 1.3

$$\text{Charge controller size} = \frac{\text{Demand Watt} \times \text{safety factor}}{\text{system voltage}} \quad (16)$$

Keterangan:

Demand Watt : permintaan daya output modul (W)

Safety Factor : faktor keamanan

System Voltage : tegangan pada sistem (V)

### 4. Baterai

Baterai berfungsi sebagai penyimpan sementara energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya, sehingga energi tersebut dapat digunakan bahkan saat sinar matahari tidak tersedia, seperti saat mendung atau malam hari. Untuk menentukan kapasitas baterai untuk kebutuhan sistem penyimpanan (*storage system*) untuk pembangkit listrik tenaga surya dapat diketahui dengan persamaan[6]:

$$C = \frac{EL \times N}{Vs \times DoD \times \eta} \quad (17)$$

Keterangan:

C : Kapasitas yang diperlukan (Ah)

Ah : Kapasitas baterai yang digunakan (Ah)

N : Jumlah hari otonomi

EL : Energi yang dibangkitkan (kWh)

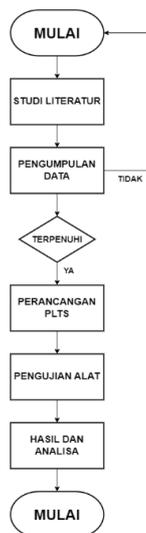
Vs : Tegangan (V)

DoD : Depth of Discharge (%)

$\eta$  : Efisiensi baterai x efisiensi inverter (%)

## METODE PENELITIAN/EKSPERIMEN

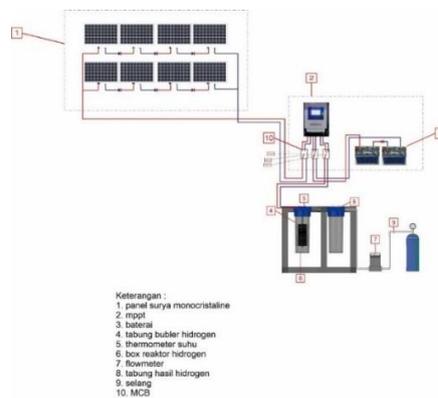
Guna menjawab rumusan masalah dan mewujudkan tujuan penelitian, dibutuhkan serangkaian langkah metodis yang terencana.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

### A. Desain perancangan PLTS

Model PLTS 400watt dirancang menggunakan delapan panel surya yang dihubungkan secara seri dan paralel, terintegrasi dengan generator HHO. Energi listrik dari panel disalurkan melalui MPPT untuk mengisi baterai dan mengoperasikan reaktor elektrolisis, yang terdiri atas tabung bubbler, termometer, dan box reaktor hidrogen. Gas hidrogen dan oksigen hasil elektrolisis dialirkan melalui flowmeter ke tabung penyimpanan dengan menggunakan selang, dan seluruh sistem dilindungi oleh MCB untuk memastikan keamanan serta kestabilan operasional.



Gambar 4. Perancangan PLTS untuk menyuplai daya pada generator HHO

### B. Pengambilan data

Penelitian ini menggunakan data primer yang diambil langsung di Fakultas Teknologi Industri dan data sekunder dari berbagai platform pendukung. Proses penelitian diawali dengan studi literatur untuk menentukan jenis, tipe, dan kapasitas komponen utama, seperti panel surya, MPPT, MCB, baterai, watt meter DC, dan generator HHO. Selanjutnya dilakukan perencanaan jaringan listrik off-grid berkapasitas 400watt menggunakan panel surya 100 WP yang dioperasikan selama enam jam pada periode penyerapan matahari optimal, yakni pukul 09:00 WIB hingga 15:00 WIB. Penentuan jumlah dan spesifikasi komponen didasarkan pada kebutuhan daya, tegangan, dan arus, yang dilanjutkan dengan perakitan sistem sesuai desain di

lokasi penelitian. Pengujian laboratorium dilakukan untuk mengevaluasi kinerja modul, meliputi pengukuran daya, tegangan, dan arus panel surya serta verifikasi fungsi MPPT. Selain itu, dilakukan pengujian generator HHO terkait daya input, tegangan, arus, dan debit gas menggunakan flowmeter. Pengambilan data dilakukan secara periodik hingga dicapai kestabilan produksi, dengan fokus pada pengukuran parameter yang relevan untuk menentukan kebutuhan daya dan laju produksi gas selama proses elektrolisis berlangsung.

### C. Perancangan PLTS

Untuk memenuhi spesifikasi desain daya 400 watt, sistem dirancang menggunakan tegangan 12 V dan arus 33 A, dengan generator gas HHO yang terdiri dari 24 pelat *stainless steel* 304 (12 anoda dan 12 katoda) berukuran luas efektif 100 cm<sup>2</sup> dan jarak antar pelat 1,5 mm. Tegangan didistribusikan merata sehingga tiap sel elektrolisis menerima sekitar 2 volt, sesuai kebutuhan praktis. Densitas arus ditetapkan sekitar 0,3 A/cm<sup>2</sup> sehingga arus total sistem berada pada kisaran 30–33 A. Tidak seperti umumnya yang menggunakan sumber listrik PLN dan konversi tegangan, penelitian ini menggunakan PLTS dan pengaturan tegangan melalui MPPT sebesar 13 V. Setelah sistem terintegrasi, dilakukan pengujian untuk memastikan seluruh komponen, meliputi panel surya, SCC, baterai, dan generator HHO, berfungsi sesuai rencana. Uji dilakukan dengan menentukan posisi optimal panel surya menggunakan aplikasi pendukung untuk mendapatkan intensitas cahaya matahari maksimum, serta pengambilan data pengukuran dari setiap perangkat dalam sistem PLTS.

Kemiringan modul PV pada penelitian ini didapatkan dari web Global Surya Atlas. Didapatkan kemiringan optimal modul PV 11<sup>0</sup> untuk Lokasi Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dengan mempertimbangkan seluruh parameter teknis, sistem PLTS ini diharapkan mampu beroperasi efisien dan mendukung proses elektrolisis gas HHO secara berkelanjutan. Untuk menjaga kinerja sistem, cadangan energi sebesar 30% dari total energi yang dihasilkan disiapkan, dengan total kebutuhan daya generator HHO sebesar 397 W.

Untuk menghitung nilai dari perhitungan PV area digunakan persamaan (13) menghasilkan PV area seluas 3,068 m<sup>2</sup>. Panel surya yang digunakan sebagai referensi adalah panel yang terpasang pada sistem PLTS dapat dicari dengan persamaan (15) didapatkan jumlah panel 7 unit. Dengan luas area array sebesar 3,068 m<sup>2</sup> dan intensitas radiasi matahari (PSI) sebesar 1000 W/m<sup>2</sup>, daya maksimum yang dapat dihasilkan oleh PLTS setelah dicari dengan persamaan (14) adalah 625,872 wattpeak. Selanjutnya menentukan kapasitas MPPT menggunakan persamaan (16), didapatkan kapasitas MPPT 14.51 A dibulatkan menjadi 15 A.

Penentuan kapasitas baterai pada sistem off-grid harus disesuaikan dengan kebutuhan beban generator HHO selama proses elektrolisis untuk mencegah kelebihan kapasitas dan pemborosan biaya, mengingat sistem tidak terhubung ke jaringan PLN. Dalam penelitian ini, kapasitas baterai dirancang dengan mempertimbangkan hari otonomi selama 2 hari. Untuk menentukan kapasitas baterai menggunakan persamaan (17), didapatkan kapasitas baterai 79,27 Ah dibulatkan menjadi 100 Ah.

### D. Pengujian Alat

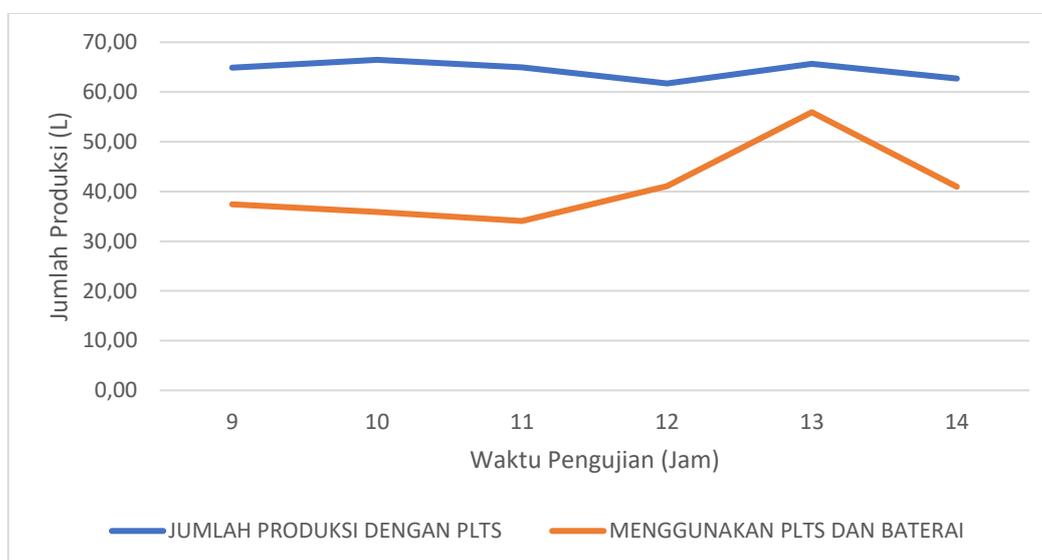
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem PLTS dalam menyuplai daya yang dibutuhkan oleh generator HHO. Pengujian PLTS dilakukan secara periodik pada pukul 09:00 hingga 15:00 untuk menganalisis kestabilan pasokan daya, laju aliran produksi, dan kemampuan sistem dalam mempertahankan operasi generator HHO di bawah variasi intensitas cahaya matahari.

**Tabel 2.** Hasil pengujian menggunakan PLTS

Jam Pengujian (jam)	Tegangan rata-rata Wp (V)	Tegangan rata-rata generator (V)	Arus rata-rata generator (A)	Daya rata-rata (Watt)	Rata-rata lajur aliran produksi Gas HHO (L)/22 menit
9	12,26	3,3	19,89	66,77	64,88
10	11,88	3,38	22,95	78,37	66,48
11	12,2	3,2	20,59	65,76	64,95
12	15,35	3,05	18,63	56,42	61,72
13	12	3,18	19,13	61,01	65,64
14	12	3,28	22,55	75,3	62,74

**Tabel 3.** Hasil pengujian menggunakan PLTS dan Baterai

Jam Pengujian (jam)	Tegangan rata-rata WP (V)	Tegangan rata-rata generator (V)	Arus rata-rata generator (A)	Daya rata-rata (Watt)	Rata-rata lajur aliran produksi Gas HHO (L)/22 menit
9	10,75	2,44	7,45	18,09	37,42
10	10,69	2,44	7,38	18,28	35,88
11	10,94	2,3	6,51	14,93	34,06
12	10,56	2,35	6,8	15,93	41,09
13	10,82	2,32	6,78	15,75	55,94
14	10,69	2,31	6,75	15,59	40,93

**Gambar 5.** Grafik perbandingan jumlah produksi yang dihasilkan generator hho menggunakan PLTS + baterai dengan PLTS

Dari hasil pengujian dapat dicari laju produksi gas HHO pada saat menggunakan PLTS dan PLTS bersama baterai dengan persamaan (4). Maka laju aliran produksi saat menggunakan PLTS didapatkan 0.908 gr/menit. Laju produksi gas HHO pada saat menggunakan PLTS dan baterai didapatkan 0.108 gr/menit.

Untuk menghitung efisiensi produksi gas HHO yang dihasilkan untuk menyuplai generator digunakan persamaan (8) dan (9). Efisiensi yang didapatkan dengan menggunakan sumber PLTS dan baterai didapatkan rasio antara energi yang berguna dibanding energi yang

diberikan selama 6 jam operasi adalah 1 : 26,11. Sedangkan Untuk generator HHO dengan suplai langsung dari PLTS perbandingan energi yang berguna disbanding energi yang diberikan adalah 1 : 35,57.

### HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari pengujian dengan hanya menggunakan PLTS mampu menghasilkan daya yang cenderung konstan seiring dengan lamanya waktu pengujian lebih optimal dalam memproduksi gas HHO dibandingkan PLTS yang ditambah Baterai, penggunaan baterai menyebabkan ketidakstabilan dan rata-rata produksi gas lebih rendah. Daya Listrik yang lebih besar secara langsung berkorelasi dengan peningkatan produksi gas HHO serta penambahan baterai hanya efektif sesaat namun tidak berkelanjutan.

Dari grafik pada Gambar 5 di atas, dapat diambil Analisa bahwa Generator HHO yang menggunakan sumber PLTS saja lebih konsisten dan lebih optimal dalam memproduksi gas HHO dibandingkan PLTS yang ditambah Baterai, penggunaan baterai menyebabkan ketidakstabilan dan rata-rata produksi gas lebih rendah. Daya Listrik yang lebih besar secara langsung berkorelasi dengan peningkatan produksi gas HHO serta penambahan baterai hanya efektif sesaat namun tidak berkelanjutan.

Penyebab terjadinya penurunan produksi ketika ditambahkan baterai adalah karena baterai menjadi komponen konversi dan resistansi internal, sehingga tegangan atau arus suplai ke sel elektrolisis turun dan fluktuatif. Walaupun di beberapa kondisi terjadi lonjakan, secara keseluruhan system PLTS saja masih lebih stabil dan memberikan daya lebih besar langsung ke sel, menghasilkan produksi gas HHO yang lebih konsisten dan tinggi.

Dari hasil secara keseluruhan didapatkan hasil data pada tabel 2 merupakan pengujian menggunakan PLTS didapatkan jumlah daya sebesar 403,62 watt. Data pada tabel 3 merupakan pengujian menggunakan PLTS dan Baterai didapatkan Jumlah daya sebesar 98,58 watt.

### SIMPULAN

Dari pembahasan yang telah dijelaskan pada bab-bab sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa :

1. Generator HHO berhasil dirancang dan dioperasikan menggunakan daya dari PLTS sebesar kurang lebih 400 watt pada tegangan 13 volt dan arus 30–33 ampere. Proses elektrolisis menggunakan 24 pelat stainless steel tipe 304 sebagai elektroda dengan jarak 1,5 mm dan luas efektif 100 cm<sup>2</sup>, serta dikendalikan sistem MPPT untuk memastikan operasi optimal tanpa ketergantungan pada listrik PLN.
2. Sistem PLTS yang dirancang mampu menghasilkan daya rata-rata 827,344 Wattpeak dan dapat memenuhi kebutuhan operasional generator HHO dengan beban daya 397 watt.
3. PLTS menunjukkan stabilitas daya keluaran meskipun terjadi fluktuasi intensitas cahaya akibat kondisi cuaca, sehingga laju produksi gas HHO tetap meningkat secara konsisten selama pengujian dalam 22 menit, dengan tegangan dan arus yang tetap stabil dalam batas kerja yang direncanakan.
4. Efisiensi produksi gas HHO selama 6 jam operasi mencapai 3,83% menggunakan sistem PLTS dan baterai, serta 2,81% jika hanya menggunakan PLTS. Penggunaan baterai terbukti meningkatkan efisiensi proses elektrolisis, meskipun secara keseluruhan efisiensi konversi energi masih tergolong rendah.#

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Hakim and B. Sudarmanta, "Karakterisasi Unjuk Kerja Generator Gas HHO Tipe Dry Cell dengan Elektroda Titanium dan Penambahan PWM," *PhD diss., Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 2016.

- [2] R. A. Pratama and D. S. Kawano, "Pengaruh Penggunaan Frekuensi Listrik Terhadap Performa Generator HHO Dan Unjuk Kerja Engine Honda Kharisma 125CC," *Jurnal Teknik Pomits*, vol. 2, no. 2, pp. B294–B298, 2013.
- [3] Amirudin, "Rancang Bangun Dan Uji Performa Generator HHO Ganda Tipe Kering (Dry Type) Dengan Penambahan Siklus On-Off Otomatis Untuk Meningkatkan Lama Waktu Pengoperasian," 2016.
- [4] V. R. Kossi, "Perencanaan PLTS Terpusat (off-grid) di Dusun Tikalong Kabupaten Mempawah," *Journal of Electrical Engineering, Energy, and Information Technology (J3EIT)*, vol. 6, no. 1, 2018.
- [5] A. Shrestha and A. Singh, "Manual for Solar Technician," *2018 International Conference on Computing, Electronic and Electrical Engineering, ICE Cube*, no. November, pp. 57–64, 2015, doi: 10.13140/RG.2.1.2161.0962.
- [6] Muhammad Thowil Afif and Ilham Ayu Putri Pratiwi, "Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid Dan Nickel-Metal Hydride Pada Penggunaan Mobil Listrik-Review," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 6, no. 2, pp. 95–99, 2015.