

DOKUMEN HKI/PATEN

KARYA CIPTA

JUDUL

**PROTOTYPE FOTOREAKTOR TANDEM PV-EC UNTUK PRODUKSI
GAS HIDROGEN**

Pencipta :

Dr. Rahadian Zainul, S.Pd., M.Si.

UNIVERSITAS NEGERI PADANG

TAHUN 2020

PROTOTYPE FOTOREAKTOR TANDEM PV-EC UNTUK PRODUKSI GAS HIDROGEN

Dr Rahadian Zainul, S.Pd, M.Si.
Univerista Negeri Padang

PROTOTYPE 1 : FOTOREAKTOR PLANAR

DESKRIPSI

Prototipe dari PV-EC dikembangkan dalam bentuk awalnya adalah sebuah Planar dengan ukuran 12 cm x 14 cm, pada model Reaktor Planar. Kemampuannya diuji untuk membangkitkan cahaya ruang berintensitas rendah dengan menggunakan elektroda pelat oksida tembaga sebagai semikonduktor yang memiliki kemampuan mengubah energi cahaya berintensitas rendah menjadi energi listrik. Pada mulanya, ukuran plat yang digunakan adalah 4 cm x 10 cm dengan ketebalan 0.2 mm. Prototipe ini menghasilkan daya sekitar 0.2 mA dan voltase 0,6 V dengan berbasis elektrolit Natrium Sulfat (Na_2SO_4).

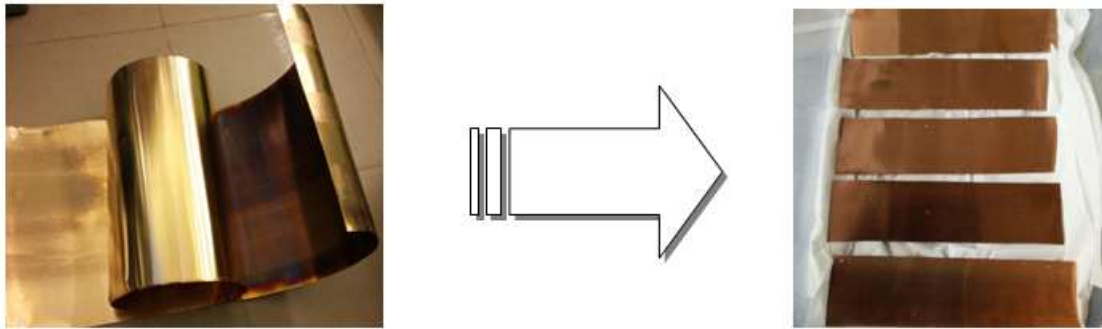
PROTOTIPE PRODUK PV EC :



SPESIFIKASI PRODUK :

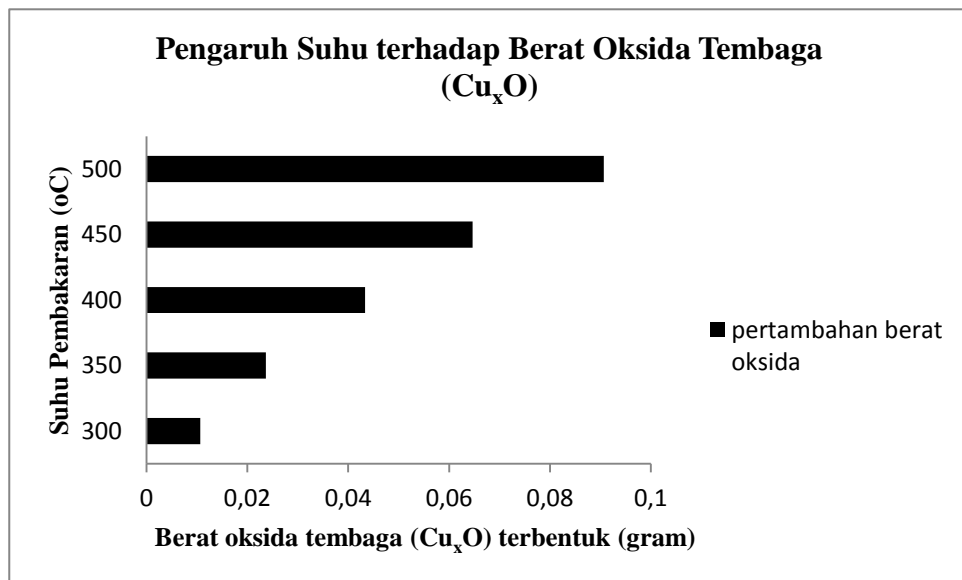
PELAT TEMBAGA UNTUK ELEKTRODA

No elektroda	berat awal (gram)	Tebal (m)	l1(m)	l2(m)	l rerata (m)	p1(m)	p2(m)	p rerata (m)	Luas (m ²)
1 (Cu 015)	16.3	0.00027	0.0395	0.04	0.03975	0.156	0.156	0.156	0.006201
2 (Cu 016)	16.144	0.00027	0.0395	0.04	0.03975	0.156	0.156	0.156	0.006201
3 (Cu 021)	16.379	0.00027	0.04	0.041	0.0405	0.156	0.156	0.156	0.006318
4 (Cu 008)	16.343	0.00027	0.04	0.04	0.04	0.156	0.156	0.156	0.00624
5 (Cu 017)	16.298	0.00027	0.0395	0.041	0.04025	0.156	0.156	0.156	0.006279
6 (Cu 027)	16.053	0.00027	0.0395	0.04	0.03975	0.156	0.156	0.156	0.006201
7 (Cu 013)	16.606	0.00027	0.0395	0.0395	0.0395	0.154	0.154	0.154	0.006083
8 (Cu 007)	16.25	0.00027	0.04	0.045	0.0425	0.155	0.155	0.155	0.006588
9 (Cu 024)	15.959	0.00027	0.04	0.04	0.04	0.155	0.155	0.155	0.0062
10 (Cu 002)	16.113	0.00027	0.039	0.041	0.04	0.154	0.154	0.154	0.00616
11 (Cu 005)	16.36	0.00027	0.0415	0.0405	0.041	0.154	0.154	0.154	0.006314
12 (Cu 018)	16.627	0.00027	0.04	0.041	0.0405	0.155	0.156	0.1555	0.006298
13 (Cu 004)	17.001	0.00027	0.041	0.042	0.0415	0.155	0.155	0.155	0.006433
14 (Cu 011)	16.242	0.00027	0.041	0.041	0.041	0.155	0.155	0.155	0.006355
15 (Cu 026)	16.372	0.00027	0.041	0.04	0.0405	0.156	0.156	0.156	0.006318

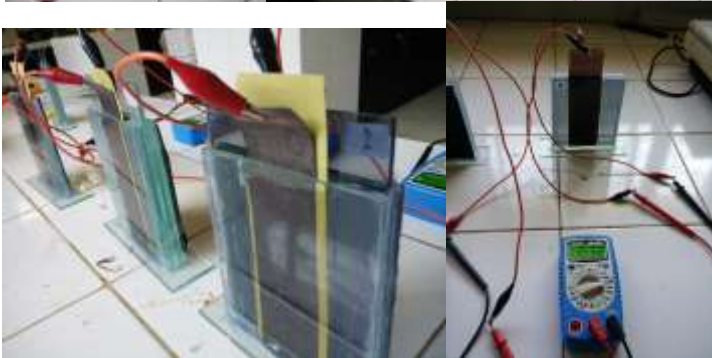
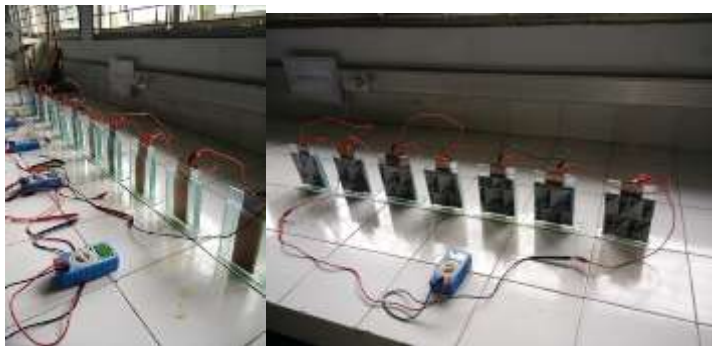
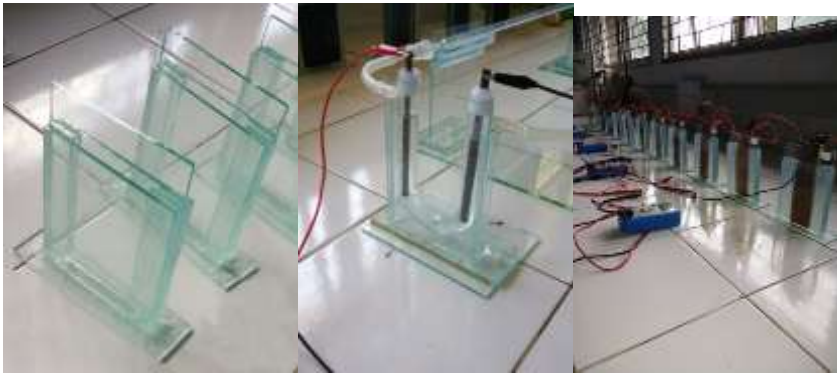


Gambar 17. Plat tembaga sebelum dan setelah dipotong

No	plat	Ketebalan (mm)	Ukuran (cm)	Berat (Kg)
1	Cu	0.15 mm	36.5 cm x 120 cm	0.60
2	Cu	0.20 mm	36.5 cm x 120 cm	0.80
3	Cu	0.30 mm	36.5 cm x 120 cm	1.20



PROTOTIPE



Optimasi Larutan Elektrolit Agar Na₂SO₄

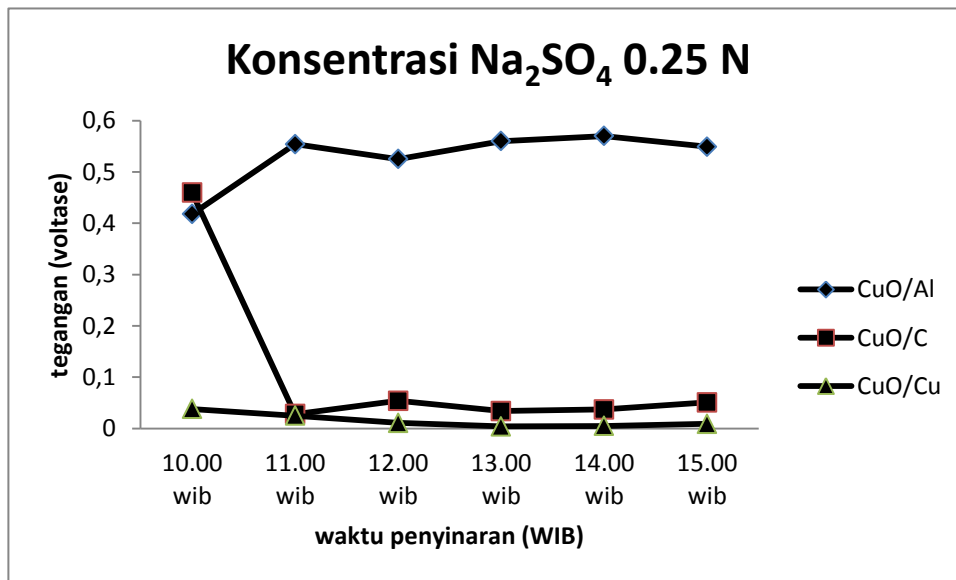
Proses optimasi larutan elektrolit digunakan dengan design sel PV 1. Wadah sel PV digunakan satu sel dan menggunakan elektroda CuO/Alm CuO/C dan CuO/Cu. Pengukuran voltase dilakukan dengan multimeter digital merek Heles.

Dari hasil optimasi terhadap larutan elektrolit dibuat dalam bentuk padat/agar diperoleh bahwa konsentrasi 0.5 N merupakan konsentrasi optimum untuk larutan elektrolit Na₂SO₄. Selanjutnya, konsentrasi powder agar optimum, yakni terbentuknya gel atau agar-agar yang stabil dan tidak mengalami kerusakan dalam waktu relative lama (1 bulan) adalah 0.5%. Hal ini terlihat pada hasil pengukuran voltase pada sel Fotovoltaik.

Pengujian Na₂SO₄ pada Konsentrasi Na₂SO₄ 0.25 N

Voltase dari Berbagai Pasangan Elektroda Sel PV 1 pada Konsentrasi Na₂SO₄ 0.25 N

waktu	CuO/Al	CuO/C	CuO/Cu
10.00 wib	0.418	0.46	0.038
11.00 wib	0.554	0.028	0.025
12.00 wib	0.525	0.054	0.011
13.00 wib	0.56	0.034	0.004
14.00 wib	0.57	0.037	0.005
15.00 wib	0.549	0.051	0.009

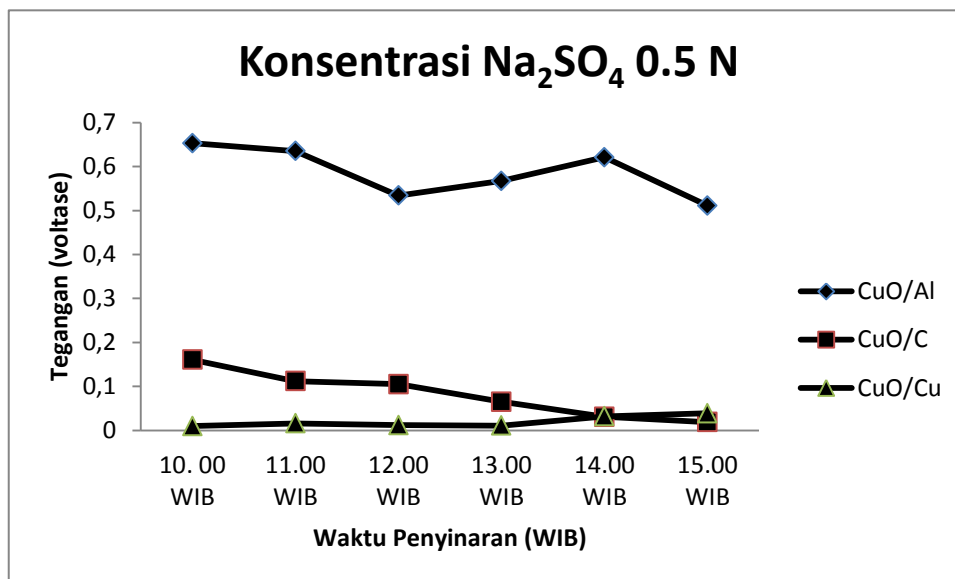


Gambar 1. Voltase bari Berbagai Pasangan Elektroda pada Konsentrasi Na₂SO₄ 0.25 N

Pengujian Na_2SO_4 pada Konsentrasi Na_2SO_4 0.5 N

Voltase Berbagai Pasangan Elektroda Pada Konsentrasi Na_2SO_4 0.5 N

Waktu	CuO/Al	CuO/C	CuO/Cu
10.00 WIB	0.653	0.161	0.01
11.00 WIB	0.635	0.112	0.016
12.00 WIB	0.534	0.105	0.012
13.00 WIB	0.567	0.065	0.011
14.00 WIB	0.621	0.031	0.032
15.00 WIB	0.511	0.019	0.039

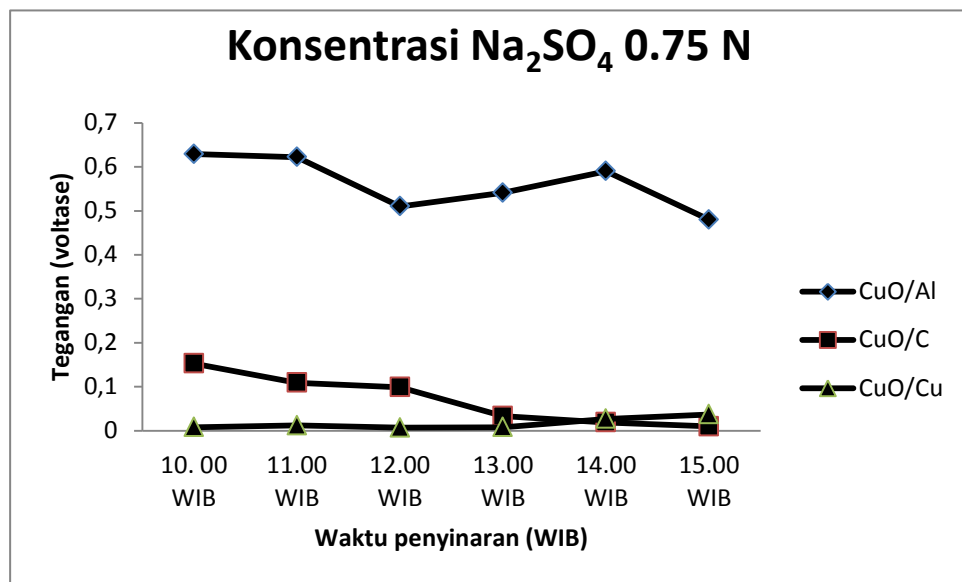


Gambar 2. Grafik Pengukuran Voltase dari Berbagai Pasangan Elektroda pada Konsentrasi Na_2SO_4 0.5 N

Pengujian Na_2SO_4 pada Konsentrasi Na_2SO_4 0.75 N

Tabel 1. Voltase dari Berbagai Pasangan Elektroda pada Konsentrasi Na_2SO_4 0.75 N

Waktu	CuO/Al	CuO/C	CuO/Cu
10.00 WIB	0.629	0.153	0.008
11.00 WIB	0.622	0.109	0.012
12.00 WIB	0.51	0.099	0.007
13.00 WIB	0.541	0.033	0.008
14.00 WIB	0.59	0.019	0.027
15.00 WIB	0.48	0.01	0.037

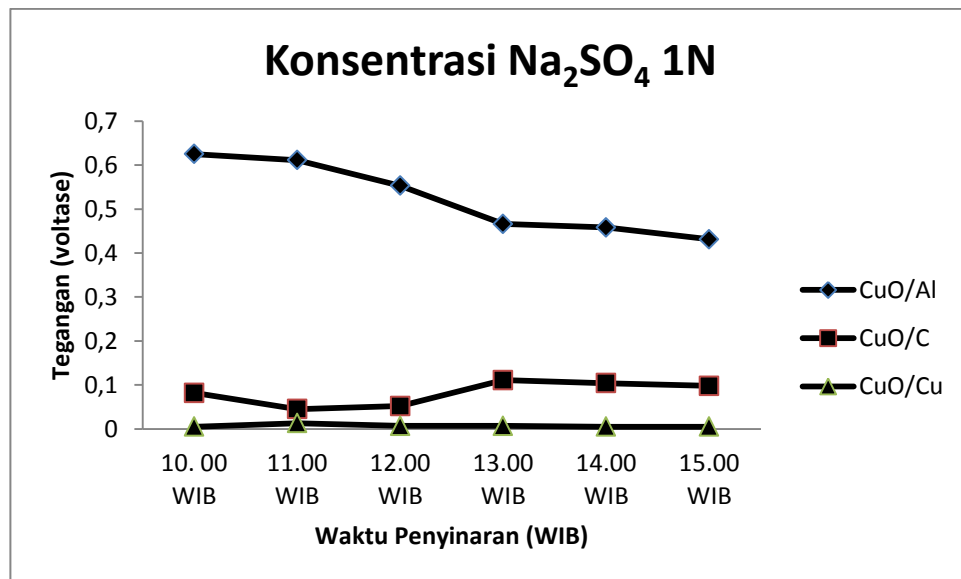


Gambar 3. Grafik Voltase dari Berbagai Pasangan Elektroda pada Konsentrasi Na_2SO_4 0.75 N

.5.4. Pengujian Na_2SO_4 pada Konsentrasi Na_2SO_4 1 N

Tabel 2. Voltase dari Berbagai Pasangan Elektroda pada Konsentrasi Na_2SO_4 1 N

Waktu	CuO/Al	CuO/C	CuO/Cu
10.00 WIB	0.625	0.082	0.005
11.00 WIB	0.611	0.045	0.013
12.00 WIB	0.553	0.052	0.007
13.00 WIB	0.466	0.111	0.007
14.00 WIB	0.458	0.104	0.005
15.00 WIB	0.431	0.098	0.005



Gambar 4. Grafik Voltase dari Berbagai Pasangan Elektroda pada Konsentrasi Na_2SO_4 1 N

Dari grafik 34, 35, 36 dan 37 di atas, dapat disimpulkan bahwa kondisi optimum untuk Na_2SO_4 dicapai pada konsentrasi 0.5 N. Hal ini terlihat bahwa pada konsentrasi ini sel Fotovoltaik memberikan tegangan yang lebih tinggi, dibandingkan pada konsentrasi Na_2SO_4 0.25 N, 0.75 N dan 1 N. Hal ini terjadi apabila konsentrasi Na_2SO_4 semakin tinggi, kemungkinan konduktivitas dan pergerakan ion dalam larutan akan terganggu, sehingga proses fotokimia tidak optimal.

4.6. Hasil Optimasi Powder Agar (gel)

Hasil optimasi powder agar-agar adalah kondisi terbentuknya media agar stabil dengan variabel waktu destruksi dan ketahanan media agar yang terbentuk selama waktu yang ditentukan. Pada pengamatan visual, pada konsentrasi lebih kecil dari 0.5 %, larutan agar yang terbentuk segera terdestruksi kembali setelah 1 jam. Pada konsentrasi 0.5 %, larutan agar yang terbentuk sudah stabil hingga 1 bulan. Namun apabila dinaikan menjadi 1 % dan 3 %, media yang terbentuk menjadi keras. Hal ini akan mempengaruhi kemampuan hantaran larutan sehingga akan mengurangi kemampuan sel Fotovoltaik nantinya.

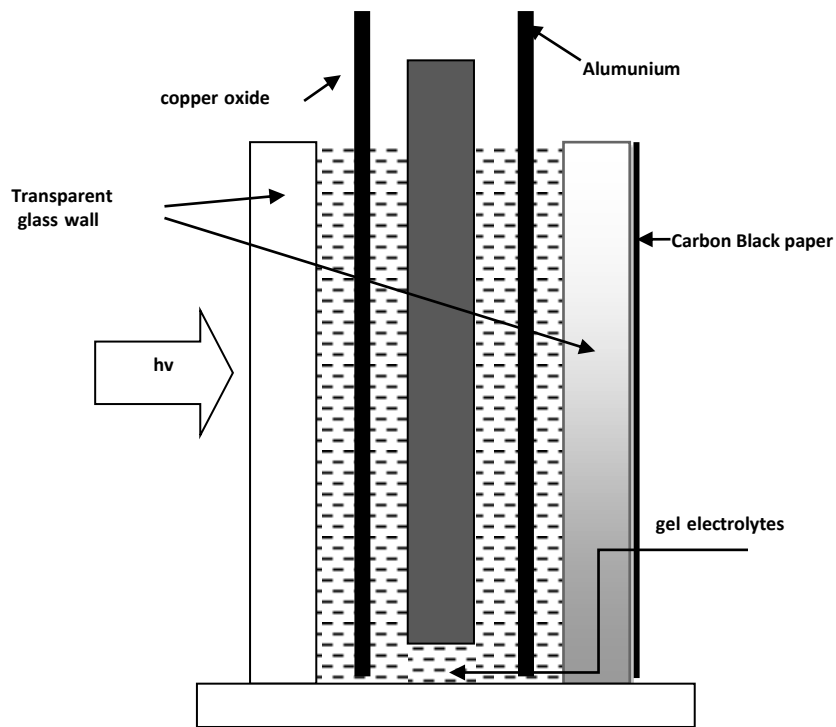
Berdasarkan pengamatan visual ini, maka optimasi yang didapatkan untuk pembuatan medium agar adalah pada konsentrasi 0.5% powder agar. Selanjutnya, pada konsentrasi ini akan dipersiapkan untuk langkah penentuan selanjutnya untuk design dan pengukuran sel Fotovoltaik.

4.7. Hasil Design dan Pembuatan Sel Fotovoltaik

4.7.1. Design Optimum Sel Fotovoltaik

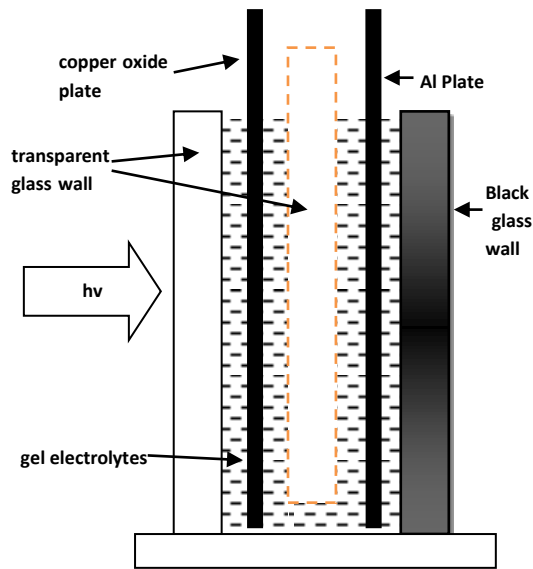
Design sel Fotovoltaik dilakukan dengan mempertimbangkan factor jarak antar elektroda dan bahan/material elektroda yang digunakan serta penggunaan dinding reactor. Ketiga design dan skemanya adalah sebagai berikut ;

- a. **Sel PV Design 1**, yakni kaca transparan bening dengan ketebalan 3 mm, dipotong dengan ukuran 2 cm x 12 cm sebanyak 4 buah. Ukuran 10 cm x 12 cm sebanyak 2 buah, dan ukuran 10 cm x 14 cm sebanyak 1 buah dan 4 cm x 14 cm sebanyak 1 buah. Pada elektroda Cu_2O adalah bagian masuk/terkena cahaya ruang, dan satu bagian lain adalah ditutup kertas karbon (elektroda Cu atau elektroda Al).



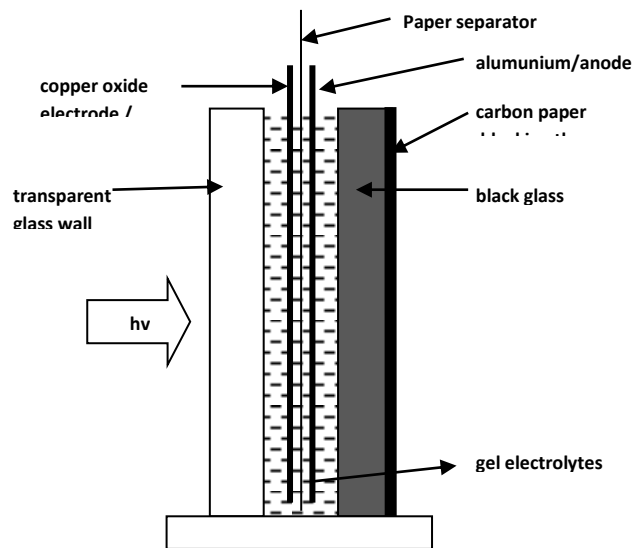
Gambar 5. Skema sel PV design 1

- b. **Sel PV Design 2**, yakni kaca transparan bening dan kaca hitam dengan ketebalan 3 mm, dipotong dengan ukuran 2 cm x 12 cm sebanyak 4 buah. Ukuran 10 cm x 12 cm sebanyak 2 buah (1 bening dan 1 hitam), dan ukuran 10 cm x 14 cm sebanyak 1 buah dan 4 cm x 14 cm sebanyak 1 buah. Pada bagian elektroda Cu_2O adalah kaca bening, dan bagian elektroda Cu atau Al adalah kaca hitam.



Gambar 6. Skematik sel PV design 2

- c. **Sel PV Design 3**, yakni kaca transparan bening dengan ketebalan 3 mm, dipotong dengan ukuran 2 cm x 12 cm sebanyak 2 buah. Ukuran 10 cm x 12 cm sebanyak 2 buah, dan 4 cm x 14 cm sebanyak 1 buah. Pada bagian bening elektroda Cu_2O , bagian gelap, elektroda Cu atau Al. Antara elektroda $\text{Cu}_2\text{O}/\text{Cu}$ atau $\text{Cu}_2\text{O}/\text{Al}$ hanya dibatasi dengan kertas kacang padi.



Gambar 7' Skematik sel PV design 3

4.7.2. Pembuatan Sel Fotovoltaik

Proses design telah berhasil dilakukan dan selanjutnya pembuatan sel Fotovoltaik untuk ketiga design dilakukan di Laboratorium Fotoelektrokimia Universitas Andalas. Penyiapan bahan yang diperlukan seperti terlihat pada gambar berikut.



Gambar 8. Komponen bahan pembuat sel Fotovoltaik

Selanjutnya, dari bahan bahan yang telah disiapkan, maka sel Fotovoltaik dibuat sebanyak tiga buah, yakni Sel PV design 1, Sel PV design 2 dan Sel PV design 3. Berikut foto dari ketiga sel PV yang telah berhasil dibuat.



Gambar 9. Sel PV design 1 yang dibuat



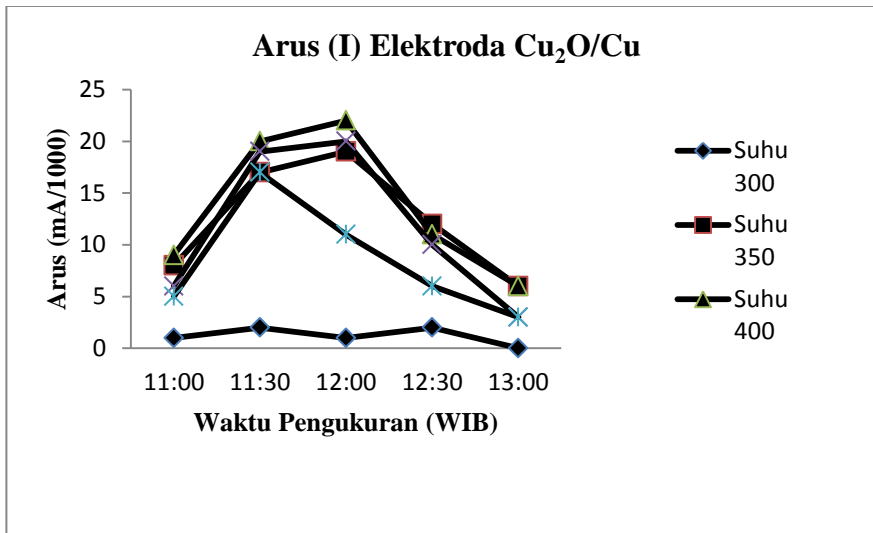
Gambar 10. Sel PV design 2 yang dibuat



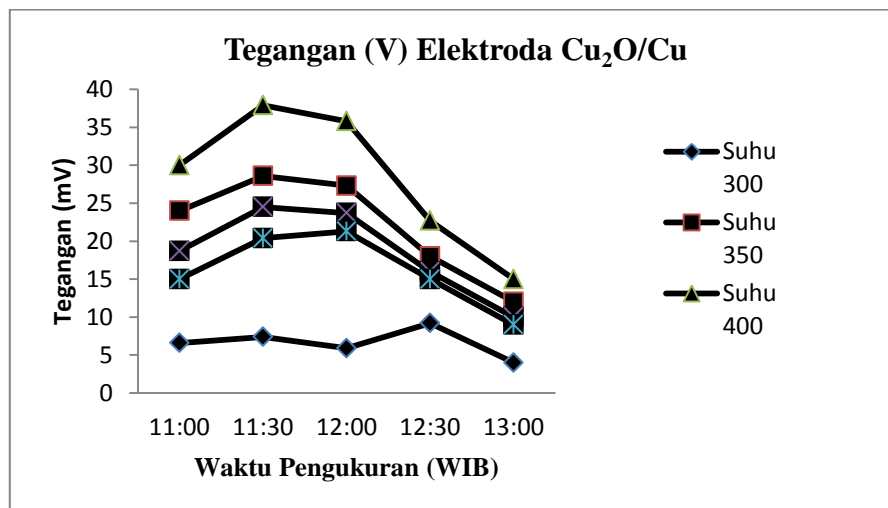
Gambar 11. Sel PV design 3 yang dibuat

4.8. Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan Sel PV

4.8.1. Arus dan Tegangan dengan variasi suhu pembakaran



Gambar 12. Grafik Arus sel PV dari elektroda pasangan Cu₂O/Cu pada variasi suhu pembakaran



Gambar 13. Grafik Tegangan sel PV dari elektroda pasangan Cu₂O/Cu pada variasi suhu pembakaran

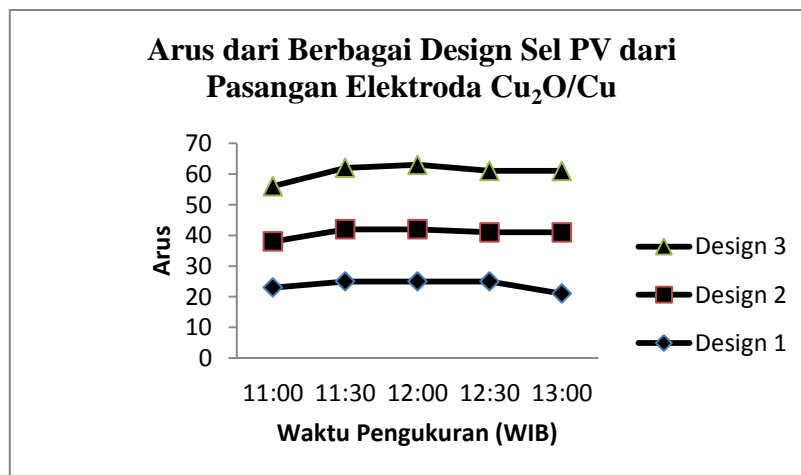
Tabel 3. Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan Rerata Harian Elektroda Cu₂O/Cu pada Variasi Suhu Pembakaran

Suhu	I (mA)	V (mV)	Daya (μW)	Daya (μW/m ²)
300	1.2	6.62	0.00914	2.462948
350	12.4	21.98	0.29698	80.02695
400	13.6	28.28	0.43106	116.1574
450	11.6	18.58	0.24834	66.91997
500	8.4	16.14	0.15462	41.66532

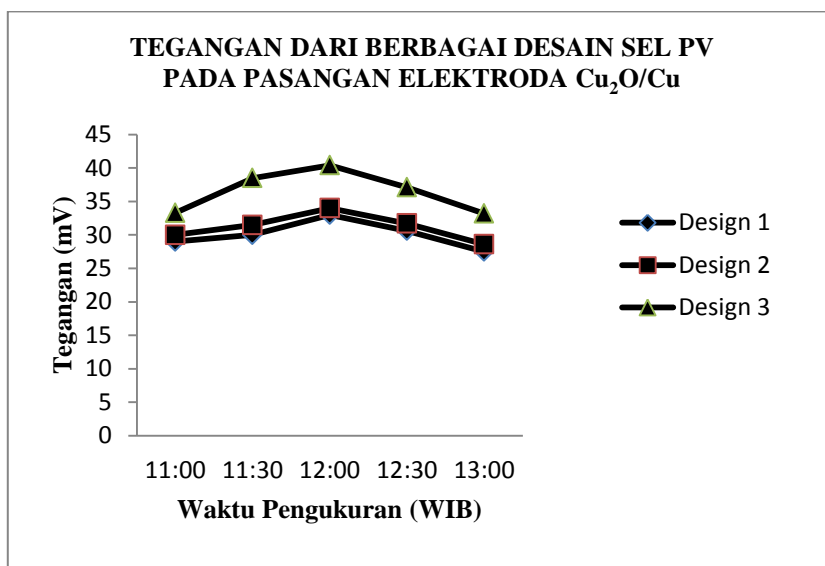
Dari hasil pengukuran arus dan tegangan rerata harian sebagaimana terlihat pada Tabel 12, dengan variasi suhu pemanasan diperoleh kondisi optimum pada suhu 400°C. Hasil ini sama dengan yang didapatkan Sears pada pembuatan Cu₂O secara termal. Pada temperature yang lebih tinggi dari 400°C, akan dihasilkan lapisan yang sangat tipis dan tidak uniform. Pada suhu yang lebih rendah dari 400°C, lapisan oksida terbentuk juga sangat tipis (W.M. SEARS and FORTIN, 1984).

Pada suhu 400°C, sel PV pasangan elektroda Cu₂O/Cu memberikan arus rerata harian pada cahaya matahari yang masuk ke dalam ruangan sebesar 13.6 μA dan tegangan sebesar 28.28 mV. Daya yang dihasilkan mencapai 116.1574 μWatt/m².

4.8.2. Arus dan Tegangan dengan variasi desain sel PV



Gambar 14. Grafik Arus dari Pasangan Elektroda Cu₂O/Cu pada variasi design sel PV



Gambar 15. Grafik Tegangan dari Elektroda Pasangan Cu₂O/Cu pada Berbagai Design Sel PV

Tabel 4. Hasil Pengukuran Arus dan Tegangan, serta Daya Rerata Harian Elektroda Cu₂O/Cu pada berbagai Design sel PV

Design PV	I (μA)	V (mV)	Daya (μW)	Daya(μW/m ²)
1	22.6	30.02	0.678452	182.8218809
2	25.6	31.16	0.797696	214.9544597
3	28.2	36.5	1.0293	277.3645918

Dari hasil pengukuran arus dan tegangan dengan berbagai desain sel PV diperoleh kondisi optimum pada Desain Sel PV 3, sebagaimana terlihat pada gambar 47 dan 48. Pada Desain sel PV 3, pasangan elektroda Cu₂O/Cu memberikan arus rerata harian pada cahaya matahari yang masuk ke dalam ruangan sebesar 28.2 μA dan tegangan sebesar 36.5 mV. Daya yang dihasilkan mencapai 1.0293 μWatt dan 277.3645918 μW/m² seperti terlihat pada Tabel 12. Sel PV design 3 memberikan hasil yang paling optimum, dikarenakan kedua elektroda memiliki jarak yang lebih kecil. Semakin kecil jarak antara kedua elektroda akan meningkatkan kemampuan sel PV, sebagaimana dilaporkan Chang,

bahwa jarak antara elektroda akan mempengaruhi densitas arus (J_{sc}) dan kemampuan efisiensi konversi sel PV (Ping-Kuan Chang et al., 2012).

4.8.3. Arus dan tegangan Sel PV dengan pasangan elektroda Cu_2O/Al

Tabel 5. Hasil Pengukuran arus dan tegangan rerata harian elektroda Cu_2O/Al pada sumber pencahayaan yang digunakan

Sel	Cahaya Matahari dalam Ruang			Cahaya ruang dari lampu Neon		
	Arus(μA)	Volt (mV)	P(mW/m ²)	Arus(μA)	Volt (mV)	P(mW/m ²)
Sel 1	200	580	31.25842	113	536	16.32121
Sel 2	257	581	40.23632	235	407	25.77338
Sel 3	121	353	11.50984	120	280	9.054163
Sel 4	980	635	167.6906	988	606	161.3387
Sel 5	167	486	21.87065	166	395	17.66909
Sel 6	258	454	31.56346	231	380	23.654
Sel 7	315	473	40.14956	371	367	36.69011
Sel 8	273	500	36.78254	350	516	48.66613
Sel 9	600	635	102.6677	361	548	53.30854
Sel 10	201	401	21.71948	248	352	23.52358
Rerata	337.2	509.8	50.54487	318.3	438.7	41.59989

Dari table 14 terlihat bahwa pada Sel PV pasangan elektroda Cu_2O/Al dihasilkan arus rerata harian sebesar 600 μA dan tegangan 635 mV dari sumber cahaya matahari yang masuk ke dalam ruangan. Pada sel PV pasangan elektroda Cu_2O/Al dari sumber cahaya lampu neon ruangan, dihasilkan arus rerata harian 318,3 μA dan tegangan sebesar 438.7 mV. Daya yang dihasilkan mencapai 50.6 mWatt/m² pada cahaya matahari yang masuk ke dalam ruangan dan 41.6 mWatt/m² untuk cahaya lampu neon ruangan. Hasil ini disebabkan karena Cu_2O merupakan semikonduktor type P. Jika kita menggunakan pasangan elektroda Cu_2O/Cu , maka logam Cu akan mempercepat terjadinya rekombinasi elektron dan hole, karena Cu memiliki potensial reduksi yang positif. Berbeda dengan logam Aluminium yang memiliki potensial reduksi negative, sehingga proses rekombinasi lebih lambat dan arus yang dihasilkan lebih besar (Chien-Lin Kuo et al., 2009).

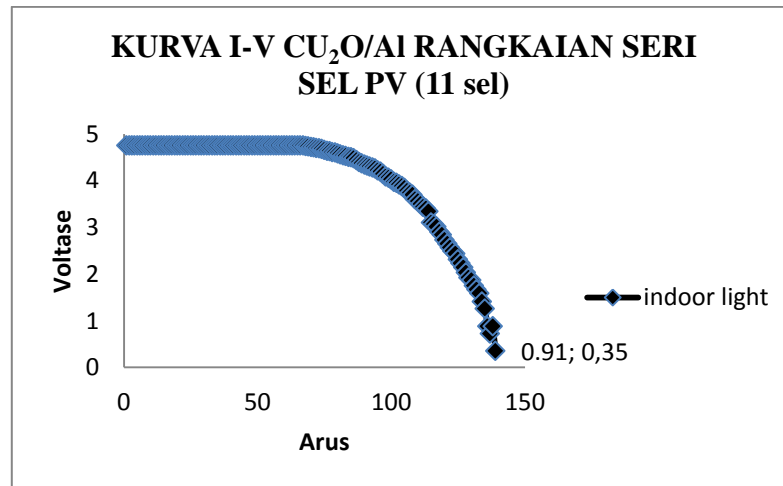
4.8.4. Penyusunan Rangkaian Sel PV secara seri dan paralel

Tabel 6. Hasil Pengukuran arus dan tegangan disusun seri dan paralel dari beberapa sel elektroda pasangan Cu₂O/Al

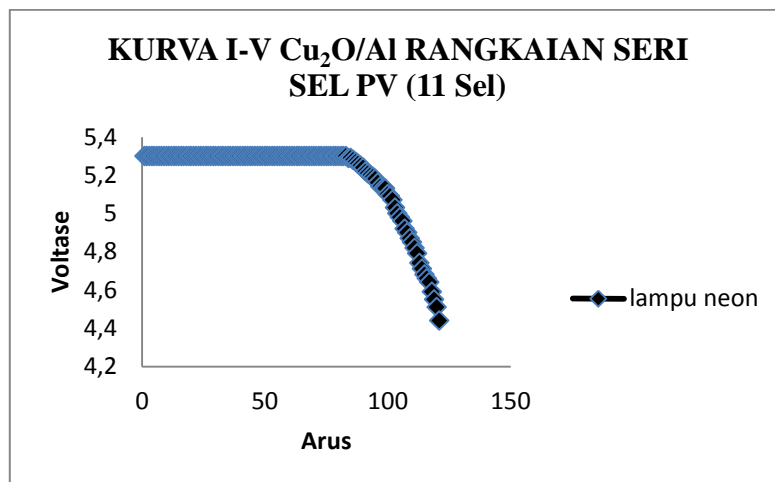
Rangkaian	arus(μ A)	Volt (mV)	Daya (μ W)	Daya(mW)	Daya (mW/m^2)
Seri 3 sel	482	1575	759.15	0.75915	204.567502
seri 5 sel	400	2340	936	0.936	252.2231205
seri 7 sel	431	3580	1542.98	1.54298	415.7855026
par 10 sel	2330	580	1351.4	1.3514	143.5731609

Dari table 15, hasil pengukuran arus dan tegangan dari sumber cahaya matahari yang masuk ke dalam ruangan, pada susunan beberapa Sel PV pasangan elektroda Cu₂O/Al dihasilkan arus rerata harian sebesar 482 μ A dan tegangan 1575 mV untuk susunan seri 3 sel. Pada susunan seri 5 dan 7 sel masing masing dihasilkan arus sebesar 400 μ A, 431 μ A, dan tegangan masing masing sebesar 2340 mV, 3580 mV. Pada susunan paralel 10 sel PV pasangan elektroda Cu₂O/Al dihasilkan arus sebesar 2330 μ A dan tegangan sebesar 580 mV. Pada susunan seri 7 sel PV, diperoleh daya sebesar **415.7855026** μ Watt/m².

4.8.5. Tabel Karakteristik kurva I-V



Gambar 16. Kurva I-V dari elektroda pasangan Cu₂O/Al pada indoor lights



Gambar 17. Kurva I-V dari elektroda pasangan Cu₂O/Al pada neon lights

Tabel 7. Arus rangkaian terbuka (I_{oc}), tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), Arus maksimum (I_{max}), tegangan maksimum (V_{max}), Nilai Fill Factor (FF) dan Efisiensi Sel PV

cahaya matahari dalam ruangan Cu ₂ O/Al					
I _{oc}	V _{oc}	I _{max}	V _{max}	FF	□□□□□
337.2	509.8	690	694	2.785615	0.752
cahaya ruang dari lampu neon Cu ₂ O/Al					
I _{oc}	V _{oc}	I _{max}	V _{max}	FF	□□□□□
318.3	438.7	545	647	2.525204	1.3
cahaya matahari dalam ruangan Cu ₂ O/Cu					
I _{oc}	V _{oc}	I _{max}	V _{max}	FF	□□□□□
20.2	28.55	46	36	2.871461	0.00618
cahaya ruang dari lampu neon Cu ₂ O/Cu					
I _{oc}	V _{oc}	I _{max}	V _{max}	FF	□□□□□
18	22	39	37	3.643939	0.00424

Dari gambar 49 dan 50 serta table 16, terlihat bahwa efisiensi sel PV pasangan elektroda Cu₂O/Al pada lampu neon ruangan lebih tinggi dibandingkan pada penyinaran cahaya matahari yang masuk ke dalam ruangan. Hal ini disebabkan intensitas lampu neon lebih tinggi.