

BAB IV

HASIL PENELITIAN

4.1 Persiapan

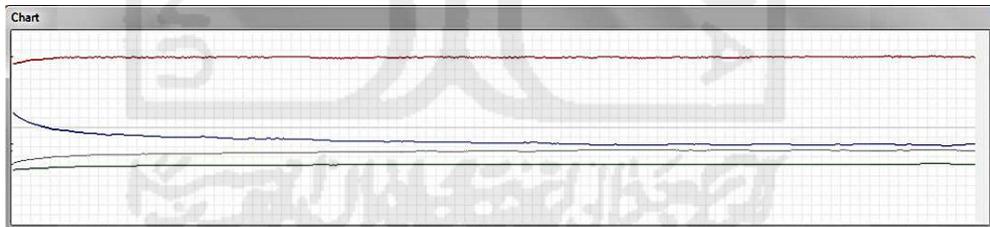
Ruang tertutup (*confined space*) adalah tempat dengan ruang dalam yang didesain untuk melakukan simulasi kondisi lingkungan lokal dalam sebuah sistem terkendali (Takahasi et al. dalam Ushada et al., 2014). Penggunaan ruang tertutup memungkinkan terjadinya pengaturan intensitas cahaya dengan pengaruh sumber cahaya luar minimal. Selain intensitas cahaya, kondisi suhu dan kelembapan ruang juga dapat dikendalikan selama eksperimen, tujuannya kondisi uji eksperimen selalu sama sehingga data eksperimen dapat dipertanggungjawabkan. Mengingat pentingnya dalam proses eksperimen optimasi tegangan dan arus sel surya maka sebagai persiapan ruang tertutup ini perlu dibuat terlebih dahulu. Ruang tertutup ini terbuat dari tripleks dengan dimensi 60 x 60 x 85 cm³ dilengkapi lampu halogen 500W/220VAC buatan Krisbow. Sumber cahaya lampu dipasang di bagian tutup atas dan diatur dengan posisi tertentu supaya cahaya jatuh tegak lurus terhadap permukaan sel surya.

Setelah ruang tertutup selesai dibuat, selanjutnya dilakukan uji terhadap kestabilan intensitas cahaya, suhu dan kelembapan ruang dengan melakukan plotting grafik menggunakan sebuah *data logger*. *Data logger* dalam penelitian ini dibuat sendiri secara khusus sebagai bagian dari proses persiapan dalam pengujian ruang tertutup maupun pengambilan data tegangan dan arus sel surya. Kelebihan alat ukur ini adalah kemampuannya dalam mengukur arus secara cepat

(sampai orde milidetik) tanpa merusakkan panel sel surya. Setiap detik selama 30 menit data intensitas cahaya, suhu dan kelembapan diambil dan dikirimkan secara otomatis menuju komputer dan diplot dalam bentuk grafik oleh software *serial chart*. Berikut ini ditunjukkan bentuk ruang tertutup yang digunakan dan hasil uji kestabilannya sesuai Gambar 4.1 dan 4.2.



Gambar 4.1 Bentuk fisik ruang tertutup

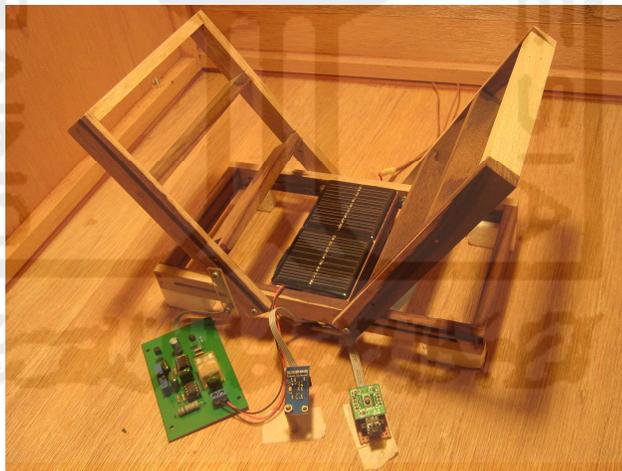


Gambar 4.2 Grafik suhu (merah), kelembapan (biru), intensitas cahaya (abu-abu) dan suhu sel surya (hijau) dalam ruang tertutup

Hasil pengujian Gambar 4.2 menunjukkan bahwa ruang tertutup yang dibuat mampu menghasilkan kondisi lingkungan lokal yang terkendali dengan hasil suhu, kelembapan dan intensitas cahaya konstan mulai menit ke 20.

Fluktuasi kecil pada grafik terjadi akibat adanya perubahan intensitas cahaya lampu yang berdampak pada fluktuasi suhu dan kelembapan ruang.

Persiapan lain yang perlu dilakukan sebelum eksperimen adalah membuat sebuah rangka penopang khusus yang memungkinkan melakukan pengaturan sudut α panel sel surya dan pemantul antara 50° , 57° , 65° , tinggi pemantul planar 6 cm, 11 cm, 15 cm dan warna pemantul merah, kuning atau hijau. Struktur penopang sel surya dan pemantul cahaya dibuat dari bahan kayu lunak dengan dimensi landasan penopang sel surya 6 x 12 cm dan tinggi penopang pemantul cahaya 16 cm. Bahan pemantul yang digunakan dalam eksperimen adalah kertas asturo dipotong ukuran 6 x 12, 11 x 12 dan 15 x 12 cm masing-masing tiga macam variasi warna.



Gambar 4.3 Struktur penopang sel surya dan pemantul

4.2 Langkah Pelaksanaan

Eksperimen optimasi tegangan dan arus sel surya dengan pemantul *v-trough* dimulai dengan menempatkan struktur penopang didalam ruang tertutup. Sensor tegangan, arus, intensitas cahaya, kelembapan dan suhu ruang ditempatkan didalam ruang bersama-sama dengan struktur penopang dengan penempatan seperti terlihat pada Gambar 4.3. *Data logger* kemudian dihubungkan ke terminal kabel sensor dan komputer. Pengiriman data dari *data logger* menuju komputer dilakukan melalui kabel serial standar *RS232* dan diterima dengan antarmuka *software serial terminal*. Sebelum bereksperimen, lampu halogen dalam ruang tertutup dinyalakan selama minimal 20 menit dengan kondisi pintu tertutup untuk mendapatkan kondisi suhu, kelembapan dan intensitas cahaya yang stabil. Pemilihan periode 20 menit sebagai waktu *set-up* ini disesuaikan hasil pengujian pada Gambar 4.2.

Pelaksanaan percobaan dengan menggunakan pemantul *v-trough* dilakukan dengan mengatur variabel bebas yaitu sudut antara panel pemantul planar dan sel surya (sudut α), tinggi panel pemantul planar (H) dan warna permukaan panel pemantul planar dengan setiap faktor terdiri dari 3 level sesuai *orthogonal array* dan pengaturan parameter pengujian pada Tabel 3.3 dan 3.4. Eksperimen pertama dilakukan setelah mengatur sudut α 50° , tinggi pemantul 6 cm dan warna pemantul hijau. Menggunakan busur derajat sudut luar antara bidang sel surya dan penopang pemantul diatur sebesar 50° kemudian kertas asturo ukuran 6x12 cm warna hijau diletakkan pada penopang pemantul di sisi kiri maupun kanan membentuk struktur seperti huruf v. Setelah pintu ruangan ditutup

dan ditunda selama 5 menit data uji dapat diambil dengan cara menekan tombol arus dan tegangan yang ada di panel depan *data logger* secara bergantian. Hasil pengukuran arus dan tegangan untuk sampel pertama hingga ketiga dapat dilihat langsung pada jendela *serial terminal* segera setelah penekanan tombol. Eksperimen kedua dan selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama sesuai pengaturan parameter Tabel 3.4.

Percobaan tanpa pemantul *v-trough* untuk memperoleh data tegangan dan arus sel surya pada kondisi tidak ada penambahan intensitas cahaya dilakukan dengan cara hampir sama, hanya saja kertas asturo yang berfungsi sebagai pemantul cahaya tidak digunakan. Setelah pintu ruangan ditutup dan ditunda 5 menit data uji diambil dan ditampilkan dalam *serial terminal*.

4.3 Hasil

Data penelitian yang disajikan merupakan hasil percobaan untuk mengoptimasi nilai luaran arus dan tegangan sel surya. Semakin tinggi nominal arus dan tegangan sel surya yang dihasilkan maka semakin optimal nilai luarannya. Proses percobaan dilakukan sesuai rancangan matriks orthogonal L_9 (3^4) menggunakan tiga buah faktor yaitu Sudut α , Tinggi Pemantul dan Warna Permukaan Pemantul dengan level sejumlah 3 buah. Penelitian ini membandingkan antara luaran sel surya dalam kondisi tanpa menggunakan pemantul planar terhadap kondisi sebaliknya dimana faktor dan level pemantul berada pada nilai optimalnya.

4.3.1 Tanpa pemantul *v-trough*

Besar nilai arus dan tegangan sel surya dari eksperimen tanpa menggunakan *v-trough* ditunjukkan oleh Tabel 4.1. Rata-rata arus dan tegangan yang diperoleh pada kondisi tanpa peningkatan intensitas cahaya sebesar 29,7 mA dan 8,13 V.

Tabel 4.1 Hasil eksperimen arus dan tegangan sel surya

	Sampel			\bar{X}	σ
	1	2	3		
Arus(mA)	29,7	29,9	29,6	29,7	0,153
Tegangan(V)	8,11	8,15	8,14	8,13	0,021

4.3.2 Menggunakan pemantul *v-trough*

Besar nilai arus dan tegangan sel surya dari eksperimen menggunakan pemantul *v-trough* dengan cara mengubah-ubah nilai sudut α (A), Tinggi Pemantul (B) dan Warna Permukaan Pemantul (C) masing-masing 3 level faktor ditunjukkan pada Tabel 4.2 dan 4.3 dibawah.

Tabel 4.2 Hasil eksperimen arus sel surya

Eksperimen	Faktor				Arus sel surya (mA)			\bar{X}
	A	B	C	e	n1	n2	n3	
1	1	1	1	1	32,9	32,7	32,8	32,8
2	1	2	2	2	34,3	34,4	34,4	34,4
3	1	3	3	3	35,2	35,1	35,2	35,2
4	2	1	2	3	33,7	33,9	33,7	33,8
5	2	2	3	1	35,7	35,6	35,7	35,7
6	2	3	1	2	34,2	34,1	34,2	34,2
7	3	1	3	2	35,0	35,1	35,0	35,0
8	3	2	1	3	34,2	34,1	34,1	34,1
9	3	3	2	1	34,9	34,9	34,9	34,9

Tabel 4.3 Hasil eksperimen tegangan sel surya

Eksperimen	Faktor				Tegangan sel surya (V)			\bar{X}
	A	B	C	e	n1	n2	n3	
1	1	1	1	1	8,16	8,16	8,16	8,16
2	1	2	2	2	8,17	8,18	8,18	8,18
3	1	3	3	3	8,21	8,20	8,21	8,21
4	2	1	2	3	8,18	8,19	8,18	8,18
5	2	2	3	1	8,22	8,21	8,22	8,22
6	2	3	1	2	8,20	8,19	8,20	8,20
7	3	1	3	2	8,20	8,21	8,21	8,21
8	3	2	1	3	8,23	8,22	8,22	8,22
9	3	3	2	1	8,25	8,26	8,25	8,25

4.4 Pengolahan Hasil

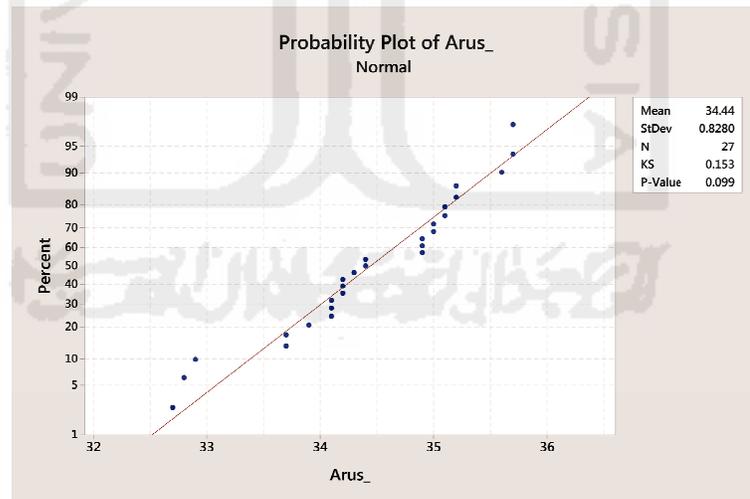
Data-data hasil penelitian Tabel 4.2 dan 4.3 akan diolah secara statistik untuk mengetahui informasi faktor yang berpengaruh dan level faktor optimal eksperimen menggunakan pemantul *v-trough*. Sebelum melakukan analisis variansi dilakukan uji normalitas dan homogenitas data guna mengetahui apakah data hasil eksperimen mengikuti distribusi normal dan memiliki variansi yang sama. Hasil analisis variansi akan memberikan informasi mengenai faktor mana yang berpengaruh terhadap variabel respon arus dan tegangan sel surya. Setelah menyelesaikan analisis variansi maka dilakukan perhitungan SNR dengan karakteristik kualitas *Larger the Better* untuk memperoleh informasi level faktor optimal eksperimen menggunakan pemantul *v-trough*. Dengan melihat nilai SNR terbesar dari setiap faktor pada masing-masing level maka kita dapat menentukan level faktor optimalnya.

4.4.1 Uji normalitas data

Uji normalitas dilakukan untuk mengetahui apakah data sampel penelitian yang diperoleh mengikuti distribusi normal atau tidak. Uji ini harus dilakukan karena uji ANOVA yang akan dilaksanakan selanjutnya didasarkan pada asumsi bahwa data sampel berdistribusi normal. Apabila hasil uji normalitas menunjukkan data tidak mengikuti distribusi normal maka selanjutnya dilakukan uji statistik non-parametrik.

4.4.1.1 Arus sel surya

Guna memperoleh informasi apakah data sampel arus sel surya memiliki distribusi normal, maka dilakukan uji Kolmogorov Smirnov. Gambar 4.1 berikut menunjukkan hasil uji normalitas data arus sel surya.



Gambar 4.4 Hasil uji normalitas data arus sel surya

Analisa :

Gambar 4.1 menunjukkan bahwa jumlah data uji ada 27 dengan nilai rata-rata 34,44; standar deviasi 0,8280; Kolmogrov-Smirnov 0,153 dan nilai P 0,099

- Hipotesis

H_0 : Data arus sel surya berdistribusi normal

H_a : Data arus sel surya berdistribusi tidak normal

- Kriteria Pengujian

Untuk taraf signifikansi $\alpha = 0,05$, maka

H_0 diterima pada $P > 0,05$

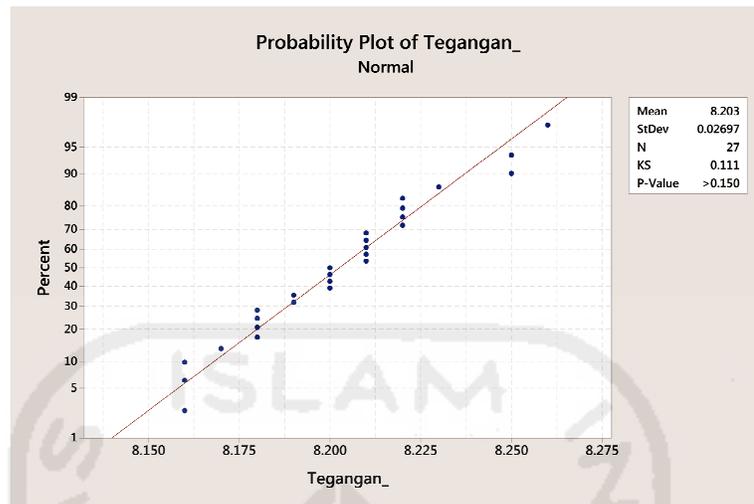
H_0 ditolak pada $P < 0,05$

- Kesimpulan

Gambar 4.1 memperlihatkan bahwa nilai P lebih besar dari nilai signifikansi yang ditetapkan, maka sesuai kriteria uji diputuskan untuk menerima H_0 . Berdasarkan hal tersebut disimpulkan bahwa secara statistik data sampel arus sel surya berdistribusi normal.

4.4.1.2 Tegangan sel surya

Guna memperoleh informasi apakah data sampel tegangan sel surya memiliki distribusi normal, maka dilakukan uji Kolmogorov Smirnov. Gambar 4.2 berikut menunjukkan hasil uji normalitas data tegangan sel surya.



Gambar 4.5 Hasil uji normalitas data tegangan sel surya

Analisa :

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa jumlah data uji ada 27 dengan nilai rata-rata 8,203; standar deviasi 0,02697; Kolmogrov-Smirnov 0,111 dan nilai $P > 0,150$

- Hipotesis

H_0 : Data tegangan sel surya berdistribusi normal

H_a : Data tegangan sel surya berdistribusi tidak normal

- Kriteria Pengujian

Untuk taraf signifikansi $\alpha = 0,05$, maka

H_0 diterima pada $P > 0,05$

H_0 ditolak pada $P < 0,05$

- Kesimpulan

Gambar 4.2 memperlihatkan bahwa nilai P lebih besar dari nilai signifikansi yang ditetapkan, maka sesuai kriteria uji diputuskan untuk

menerima H_0 . Berdasarkan hal tersebut disimpulkan bahwa secara statistik data sampel tegangan sel surya berdistribusi normal

4.4.2 Uji Homogenitas Data

Uji homogenitas dilakukan untuk mengetahui apakah data sampel penelitian yang diperoleh memiliki sifat homogen. Uji ini harus dilakukan karena uji ANOVA yang akan dilaksanakan selanjutnya didasarkan pada asumsi bahwa data sampel memiliki sifat homogen.

4.4.2.1 Arus sel surya

Data arus sel surya diuji menggunakan uji Bartlett untuk mengetahui apakah data sampel bersifat homogen. Gambar 4.3 menunjukkan hasil uji homogenitas data arus sel surya.

- Hipotesis

H_0 : Data arus sel surya memiliki variansi sama

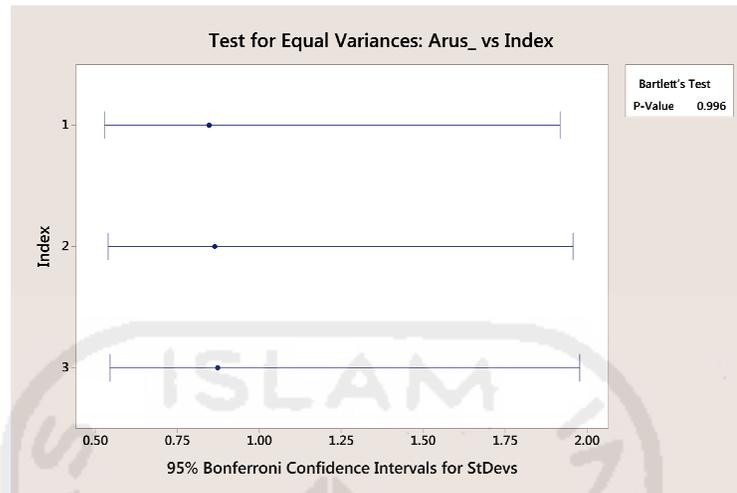
H_a : Setidaknya ada satu nilai variansi yang berbeda

- Kriteria Pengujian

Untuk taraf signifikansi $\alpha = 0,05$, maka

H_0 diterima pada $P > 0,05$

H_0 ditolak pada $P < 0,05$



Gambar 4.6 Hasil uji homogenitas data arus sel surya

- Kesimpulan

Gambar 4.3 memperlihatkan bahwa nilai $P = 0.996$ lebih besar dari nilai signifikansi yang ditetapkan, maka sesuai kriteria uji diputuskan untuk menerima H_0 . Berdasarkan hal tersebut disimpulkan bahwa secara statistik data sampel arus sel surya memiliki variansi yang sama (homogen).

4.4.2.2 Tegangan sel surya

Data tegangan sel surya diuji menggunakan uji Bartlett untuk mengetahui apakah data sampel bersifat homogen. Gambar 4.4 menunjukkan hasil uji homegenitas data tegangan sel surya.

- Hipotesis

H_0 : Data tegangan sel surya memiliki variansi sama

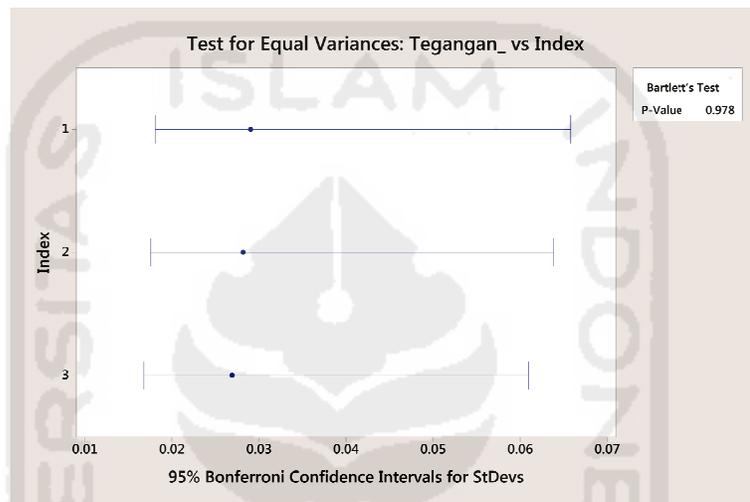
H_a : Setidaknya ada satu nilai variansi yang berbeda

- Kriteria Pengujian

Untuk taraf signifikansi $\alpha = 0,05$, maka

H_0 diterima pada $P > 0,05$

H_0 ditolak pada $P < 0,05$



Gambar 4.7 Hasil uji homogenitas data tegangan sel surya

- Kesimpulan

Gambar 4.4 memperlihatkan bahwa nilai $P = 0,978$ lebih besar dari nilai signifikansi yang ditetapkan, maka sesuai kriteria uji diputuskan untuk menerima H_0 . Berdasarkan hal tersebut disimpulkan bahwa secara statistik data sampel tegangan sel surya memiliki variansi yang sama (homogen).

4.4.3 Uji ANOVA respon

Analisis variansi berguna untuk mengetahui faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon arus maupun tegangan sel surya. Bagian ini menyajikan uji ANOVA untuk kedua respon arus dan tegangan sel surya. Faktor

yang akan diuji apakah berpengaruh secara signifikan terhadap nilai arus sel surya dengan ANOVA adalah Sudut α (A), Tinggi Pemantul (B) dan Warna Pemantul (C).

4.4.3.1 Arus sel surya

Untuk mengetahui faktor utama yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabel respon arus sel surya, maka hasil perhitungan ANOVA dengan Minitab ditunjukkan pada Tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel. 4.4 ANOVA respon arus sel surya

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Alfa	2	1.6089	0.80444	75.42	0
Tinggi	2	4.5089	2.25444	211.35	0
Warna	2	11.4956	5.74778	538.85	0
Error	20	0.2133	0.01067		
Lack-of-Fit	2	0.1267	0.06333	13.15	0
Pure Error	18	0.0867	0.00481		
Total	26	17.8267			

- Hipotesis

H_0 : Faktor tidak berpengaruh terhadap respon

H_a : Faktor berpengaruh terhadap respon

- Kriteria Pengujian

Untuk taraf signifikansi $\alpha = 0,05$, maka

H_0 diterima pada $P > 0,05$

H_0 ditolak pada $P < 0,05$

Berdasarkan hasil perhitungan yang tercantum pada Tabel. 4.4 diperoleh faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabel respon arus sel surya

adalah Sudut α (A), Tinggi Pemantul (B) dan Warna Pemantul (C), dimana nilai P dari ketiga faktor < 0.05 .

4.4.3.2 Tegangan sel surya

Untuk mengetahui faktor utama yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabel respon tegangan sel surya, maka hasil perhitungan ANOVA dengan Minitab ditunjukkan pada Tabel 4.5 dibawah ini.

Tabel. 4.5 ANOVA respon tegangan sel surya

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Alfa	2	0.009985	0.004993	54.57	0
Tinggi	2	0.005807	0.002904	31.74	0
Warna	2	0.001296	0.000648	7.09	0.005
Error	20	0.00183	0.000091		
Lack-of-Fit	2	0.001296	0.000648	21.88	0
Pure Error	18	0.000533	0.00003		
Total	26	0.018919			

- Hipotesis

H_0 : Faktor tidak berpengaruh terhadap respon

H_a : Faktor berpengaruh terhadap respon

- Kriteria Pengujian

Untuk taraf signifikansi $\alpha = 0,05$, maka

H_0 diterima pada $P > 0,05$

H_0 ditolak pada $P < 0,05$

Berdasarkan hasil perhitungan yang ditunjukkan pada Tabel 4.5, faktor-faktor yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabel respon tegangan sel

surya adalah Sudut α (A), Tinggi Pemantul (B) dan Warna Pemantul (C), dimana nilai P dari ketiga faktor < 0.05 .

4.4.4 *Signal to Noise Ratio*

Signal to noise ratio (SNR) merupakan logaritma dari suatu fungsi kerugian kuadratik dan digunakan untuk mengevaluasi kualitas suatu produk. Karakteristik kualitas yang digunakan dalam penelitian adalah Larger The Better (LTB), dimana target pencapaiannya merupakan nilai arus dan tegangan luaran sel surya yang tinggi. Semakin tinggi nilai arus dan tegangan yang diperoleh semakin baik, idealnya tak terhingga.

Guna mengetahui kombinasi level faktor optimal yang mampu memaksimalkan nilai arus dan tegangan sel surya maka dilakukan perhitungan SNR yang dilanjutkan dengan perhitungan efek faktor untuk setiap variabel respon. Proses perhitungan ini dilakukan menggunakan *software* Minitab untuk setiap variabel respon penelitian dengan hasil berupa tabel respon SNR dan rata-rata. Tabel respon SNR yang ditunjukkan Minitab merupakan hasil perhitungan efek faktor yang telah disusun dalam bentuk tabel. Apabila terdapat kesulitan dalam menentukan level faktor optimal berdasarkan tabel SNR saja, maka tabel respon rata-rata dapat dipergunakan sebagai tambahan informasi dalam menentukan keputusan. Hasil SNR dan rata-rata untuk variabel respon arus maupun tegangan ditunjukkan oleh Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

Tabel 4.6 Hasil SNR dan rata-rata arus sel surya

Level	Respon SNR LTB			Respon Rata-rata		
	Alfa	Tinggi	Warna	Alfa	Tinggi	Warna
1	30,65	30,59	30,55	34,11	33,87	33,7
2	30,76	30,81	30,72	34,53	34,72	34,34
3	30,8	30,82	30,95	34,69	34,74	35,29
Delta	0,15	0,22	0,4	0,58	0,88	1,59
Rank	3	2	1	3	2	1

Tabel 4.7 Hasil SNR dan rata-rata tegangan sel surya

Level	Respon SNR LTB			Respon Rata-rata		
	Alfa	Tinggi	Warna	Alfa	Tinggi	Warna
1	18,26	18,26	18,27	8,181	8,183	8,193
2	18,28	18,28	18,28	8,199	8,206	8,204
3	18,31	18,3	18,29	8,228	8,219	8,21
Delta	0,05	0,04	0,02	0,047	0,036	0,017
Rank	1	2	3	1	2	3

Hasil uji SNR arus sel surya menunjukkan bahwa kombinasi level faktor optimal adalah **A₃ B₃ C₃**, artinya untuk **memaksimalkan** nilai luaran arus sel surya (mA) dibutuhkan kombinasi level faktor Sudut α 65°, Tinggi Pemantul 15 cm dan Warna Pemantul Merah.

Tabel SNR tegangan sel surya juga menunjukkan kombinasi level faktor optimal sama dengan SNR arus yaitu pada **A₃ B₃ C₃**, artinya untuk **memaksimalkan** nilai luaran tegangan sel surya (V) dibutuhkan kombinasi level faktor Sudut α 65°, Tinggi Pemantul 15 cm dan Warna Pemantul Merah. Berdasarkan hasil pengujian level faktor optimal kedua respon adalah sama yaitu **A₃ B₃ C₃**, dengan demikian tidak perlu dilakukan analisis multirespon.

4.4.5 Eksperimen konfirmasi

Hasil uji SNR menunjukkan bahwa level faktor optimal kedua respon berada pada $A_3B_3C_3$. Mengingat bahwa level faktor optimal tidak termasuk ke dalam *orthogonal array* penelitian maka perlu dilakukan eksperimen konfirmasi untuk mengetahui nilai arus dan tegangan sel surya secara riil. Hasil eksperimen pada kondisi sel surya dipasang pemantul dengan kombinasi level optimal $A_3B_3C_3$ ditunjukkan oleh Tabel 4.8

Tabel 4.8 Hasil eksperimen menggunakan pemantul *v-trough* pada $A_3B_3C_3$

	Sampel			\bar{X}	σ
	1	2	3		
Arus(mA)	36	35.8	35.9	35,9	0,1000
Tegangan(V)	8,25	8,26	8,25	8,25	0,0057

4.4.6 Uji beda

Uji beda dilakukan untuk mengetahui apakah data hasil eksperimen mampu menaikkan rata-rata nilai arus dan tegangan sel surya pada kondisi sel surya dipasang pemantul cahaya terhadap kondisi tanpa menggunakan pemantul. Apabila rata-rata nilai kedua respon kondisi menggunakan pemantul dikurangi kondisi tanpa pemantul lebih besar dari nol maka penggunaan pemantul mampu menaikkan rata-rata nilai respon.

4.4.6.1 Arus sel surya

Perbandingan hasil uji arus sel surya kondisi dipasang pemantul cahaya terhadap tanpa pemantul ditunjukkan oleh tabel berikut.

Tabel 4.9 Perbandingan hasil uji arus sel surya dalam satuan miliampere

Tanpa Pemantul	Menggunakan Pemantul
29,70	36,0
29,90	35,8
29,60	35,9
$\bar{X} = 29,73$	$\bar{X} = 35,9$

- Hipotesis
 H_0 : Hasil eksperimen tidak mampu menaikkan rata – rata nilai arus sel surya pada kondisi menggunakan pemantul cahaya terhadap tanpa pemantul
 H_a : Hasil eksperimen mampu menaikkan rata – rata nilai arus sel surya pada kondisi menggunakan pemantul cahaya terhadap tanpa pemantul
- Kriteria Pengujian
 Untuk taraf signifikansi $\alpha = 0,05$, maka
 H_0 diterima pada $P > 0,05$
 H_0 ditolak pada $P < 0,05$
- Hasil Uji Beda

Tabel 4.10 Uji beda arus sel surya dengan pemantul

	N	Mean	StDev
Arus DP	3	35,9	0,1
Arus TP	3	29,7333	0,1528
Difference	3	6,167	0,231
T-Value		46,25	
P-Value		0,000	

- Kesimpulan

Hasil uji beda menunjukkan bahwa nilai P yang diperoleh adalah 0,000 maka dapat disimpulkan bahwa $P < 0,05$ sehingga secara statistik terbukti bahwa terdapat kenaikan nilai rata-rata arus sel surya pada kondisi menggunakan pemantul cahaya terhadap tanpa pemantul

Berdasarkan hasil uji yang tertera pada Tabel 4.9 menunjukkan, bahwa nilai arus pada kondisi menggunakan pemantul *v-trough* lebih besar dibanding dengan kondisi normal yaitu sebesar 35,9 mA. Terdapat selisih arus sebesar $35,9 \text{ mA} - 29,7 \text{ mA} = 6,2 \text{ mA}$ dengan kenaikan $20,88 \% \left[20,88 \% = \left(\frac{6,2}{29,7} \right) \times 100 \% \right]$ terhadap kondisi normal. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan pemantul tipe *v-trough* mampu meningkatkan rata-rata nilai arus (mA) sel surya.

4.4.6.2 Tegangan sel surya

Perbandingan hasil uji tegangan sel surya kondisi dipasang pemantul cahaya terhadap tanpa pemantul ditunjukkan oleh tabel berikut.

Tabel 4.11 Perbandingan hasil uji tegangan sel surya dalam satuan volt

Tanpa Pemantul	Menggunakan Pemantul
8,11	8,25
8,15	8,26
8,14	8,25
$\bar{X} = 8,13$	$\bar{X} = 8,25$

- Hipotesis

H_0 : Hasil eksperimen tidak mampu menaikkan rata – rata nilai tegangan sel surya pada kondisi menggunakan pemantul cahaya terhadap tanpa pemantul

H_a : Hasil eksperimen mampu menaikkan rata – rata nilai tegangan sel surya pada kondisi menggunakan pemantul cahaya terhadap tanpa pemantul

- Kriteria Pengujian

Untuk taraf signifikansi $\alpha = 0,05$, maka

H_0 diterima pada $P > 0,05$

H_0 ditolak pada $P < 0,05$

- Hasil Uji Beda

Tabel 4.12 Uji beda tegangan sel surya dengan pemantul

	N	Mean	StDev
Tegangan DP	3	8,2533	0,0058
Tegangan TP	3	8,1333	0,0208
Difference	3	0,12	0,0173
T-Value	12,00		
P-Value	0,003		

- Kesimpulan

Hasil uji beda menunjukkan bahwa nilai P yang diperoleh adalah 0,003 maka dapat disimpulkan bahwa $P < 0,05$ sehingga secara statistik terbukti bahwa terdapat kenaikan nilai rata-rata tegangan sel surya pada kondisi menggunakan pemantul cahaya terhadap tanpa pemantul

Berdasarkan hasil uji yang tertera pada Tabel 4.11 menunjukkan, bahwa nilai tegangan pada kondisi menggunakan pemantul *v-trough* lebih besar dibanding dengan kondisi normal yaitu sebesar 8,25 V. Terdapat selisih tegangan sebesar $8,25 \text{ V} - 8,13 \text{ V} = 0,12 \text{ V}$ dengan kenaikan 1,48 % $\left[1,48 \% = \left(\frac{0,12}{8,13} \right) \times 100 \% \right]$ terhadap kondisi normal. Hal ini menunjukkan, bahwa penggunaan pemantul *v-trough* mampu meningkatkan rata-rata nilai tegangan (V) sel surya.

4.4.7 Eksperimen lapangan

Uji lapangan menggunakan sumber energi cahaya matahari dan uji laboratorium menggunakan sumber cahaya lampu halogen dibandingkan untuk mengetahui apakah nilai rata-rata tegangan dan arus sel surya yang diperoleh sama atau berbeda. Uji laboratorium di dalam *confined space* dilakukan pada kondisi intensitas cahaya ± 5500 lux, kelembapan udara ± 50 RH dan suhu lingkungan $35 - 39^\circ\text{C}$, sedangkan eksperimen lapangan dilakukan pada jam 11.00 WIB dalam kondisi cuaca cerah intensitas cahaya lebih dari 54612 lux, kelembapan udara 27 RH dan suhu lingkungan 54°C . Hasil eksperimen lapangan ditunjukkan oleh Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil eksperimen lapangan menggunakan *v-trough* pada $A_3B_3C_3$

	Sampel			\bar{X}
	1	2	3	
Arus(mA)	89,2	89,2	89,3	89,2
Tegangan(V)	8,16	8,16	8,17	8,16

Berdasarkan tabel diperoleh rata-rata nilai tegangan dan arus sel surya kondisi lapangan sebesar 8,16 V dan 89,2 mA. Nilai rata-rata arus kondisi lapangan lebih

tinggi daripada kondisi eksperimen laboratorium, sebaliknya rata-rata tegangannya lebih kecil dari eksperimen laboratorium.

Tabel 4.14 Hasil eksperimen lapangan tanpa menggunakan *v-trough*

	Sampel			\bar{X}
	1	2	3	
Arus(mA)	73,7	73,8	73,8	73,8
Tegangan(V)	8,07	8,08	8,08	8,08

Berdasarkan hasil uji yang tertera pada Tabel 4.13 dan 4.14 menunjukkan, bahwa nilai arus pada kondisi uji lapangan lebih besar dibanding kondisi laboratorium yaitu sebesar 89,2 mA. Terdapat selisih arus sebesar 89,2 mA – 35,9 mA = 53,3 mA dengan kenaikan 148,5 % $\left[148,5 \% = \left(\frac{53,3}{35,9}\right) \times 100 \%\right]$ terhadap kondisi laboratorium. Nilai tegangan pada kondisi uji lapangan lebih kecil dibanding kondisi laboratorium yaitu sebesar 8,16 V. Terdapat selisih tegangan sebesar 8,16 V – 8,25 V = -0,09 V dengan penurunan 1,09 % $\left[1,09 \% = \left(\frac{0,09}{8,25}\right) \times 100 \%\right]$ terhadap kondisi laboratorium.

Uji statistik yang dilakukan guna mengetahui apakah kondisi uji lapangan pada kombinasi level faktor optimal $A_3B_3C_3$ menghasilkan luaran tegangan dan arus sel surya yang berbeda dengan kondisi uji laboratorium adalah uji beda dua sisi.

4.4.7.1 Uji beda arus sel surya

Perbandingan nilai arus sel surya pada kondisi uji lapangan dan kondisi uji laboratorium untuk kombinasi level faktor optimal ditunjukkan oleh Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Perbandingan hasil uji arus sel surya dalam satuan miliampere

Uji Laboratorium	Uji Lapangan
36,0	89,2
35,8	89,2
35,9	89,3
$\bar{X} = 35,9$	$\bar{X} = 89,2$

- Hipotesis
 H_0 : Rata-rata nilai arus kondisi uji lapangan sama dengan kondisi uji laboratorium
 H_a : Rata-rata nilai arus kondisi uji lapangan berbeda dengan kondisi uji laboratorium
- Kriteria Pengujian
 Untuk taraf signifikansi $\alpha = 0,05$, maka
 H_0 diterima pada $P > 0,05$
 H_0 ditolak pada $P < 0,05$
- Hasil Uji Beda

Tabel 4.16 Uji beda arus sel surya kondisi lapangan

	N	Mean	StDev
Arus DPLapangan	3	89,2333	0,0577
Arus DPLaboratorium	3	35,9000	0,1000
Difference	3	53,3333	0,1155
T-Value	800,00		
P-Value	0,000		

- Kesimpulan

Hasil uji beda menunjukkan bahwa nilai P yang diperoleh adalah 0,000 maka dapat disimpulkan bahwa $P < 0,05$ sehingga secara statistik terbukti bahwa rata-rata arus sel surya pada kombinasi level faktor optimal untuk kondisi uji lapangan berbeda dengan kondisi uji laboratorium.

4.4.7.2 Uji beda tegangan sel surya

Perbandingan nilai tegangan sel surya pada kondisi uji lapangan dan kondisi uji laboratorium untuk kombinasi level faktor optimal ditunjukkan oleh Tabel 4.17

Tabel 4.17 Perbandingan hasil uji tegangan sel surya dalam satuan volt

Uji Laboratorium	Uji Lapangan
8,25	8,16
8,26	8,16
8,25	8,17
$\bar{X} = 8,25$	$\bar{X} = 8,16$

- Hipotesis

H_0 : Rata-rata nilai tegangan kondisi uji lapangan sama dengan kondisi uji laboratorium.

H_a : Rata-rata nilai tegangan kondisi uji lapangan berbeda dengan kondisi uji laboratorium.

- Kriteria Pengujian

Untuk taraf signifikansi $\alpha = 0,05$, maka

H_0 diterima pada $P > 0,05$

H_0 ditolak pada $P < 0,05$

- Hasil Uji Beda

Tabel 4.18 Uji beda tegangan sel surya kondisi lapangan

	N	Mean	StDev
Arus DPLapangan	3	8,16333	0,00577
Arus DPLaboratorium	3	8,25333	0,00577
Difference	3	-0,09000	0,01000
T-Value		-15,59	
P-Value		0,004	

- Kesimpulan

Hasil uji beda menunjukkan bahwa nilai P yang diperoleh adalah 0,004 maka dapat disimpulkan bahwa $P < 0,05$ sehingga secara statistik terbukti bahwa rata-rata tegangan sel surya pada kombinasi level faktor optimal untuk kondisi uji lapangan berbeda dengan kondisi uji laboratorium.

4.4.8 Perhitungan biaya

Biaya awal yang dibutuhkan untuk menghasilkan listrik DC menggunakan sel surya sebagai piranti konversi energi dalam kondisi optimal (usulan) maupun kondisi normal akan diperhitungkan pada bagian ini. Selain perhitungan biaya awal, biaya / mW setelah sel surya menghasilkan listrik DC juga menjadi perhatian untuk diperhitungkan guna mengetahui apakah kondisi optimal benar dapat dipergunakan. Hasil perhitungan biaya pemasangan sel surya kondisi optimal (usulan) dan normal dapat ditunjukkan pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19 Biaya pemasangan awal sel surya kondisi optimal (usulan) dan kondisi normal

No	Bahan	Harga (Rp)		Selisih
		Kondisi Normal	Kondisi Optimal	
1	Sel Polycrystalline	110.000,00	110.000,00	0
2	Kertas Asturo	0	975,00	975,00
3	Struktur Penopang	1.097,00	2.982,00	1.885,00
Jumlah		111.097,00	113.957,00	2.860,00

Berdasarkan perbandingan biaya antara usulan dengan kondisi normal pada Tabel 4.19 terlihat, bahwa biaya untuk usulan adalah Rp113.957,00 dan kondisi normal Rp111.097,00 dengan selisih Rp2.860,00. Biaya untuk kondisi usulan jelas lebih mahal Rp2.680,00 untuk pemasangan awal dibanding kondisi normal yang hanya Rp111.097,00, namun demikian jika dilihat dari biaya / mW yang diperoleh setelah sel surya menghasilkan listrik DC maka kondisi usulan merupakan solusi yang lebih murah. Berikut ditunjukkan perhitungan biaya / mW antara kondisi optimal dengan kondisi normal.

- **Hitungan biaya / mW kondisi normal pada uji laboratorium**

Total biaya pemasangan awal berdasarkan Tabel 4.19 adalah Rp111.097,00.

Rata-rata nilai arus (I) dan tegangan (V) sel surya yang terukur sebesar 29,7 mA dan 8,13 V.

Rata-rata nilai daya (P) yang diperoleh sebesar arus (I) dikalikan dengan tegangan (V) yaitu 241,46 mW

Biaya / mW yang didapatkan Rp111.097,00 dibagi dengan 241,46 mW yaitu sebesar Rp460,11 / mW

- **Hitungan biaya / mW kondisi optimal pada uji laboratorium**

Total biaya pemasangan awal berdasarkan Tabel 4.19 adalah Rp113.957,00.

Rata-rata nilai arus (I) dan tegangan (V) sel surya yang terukur sebesar 35,9 mA dan 8,25 V.

Rata-rata nilai daya (P) yang diperoleh sebesar arus (I) dikalikan dengan tegangan (V) yaitu 296,18 mW

Biaya / mW yang didapatkan Rp113.957,00 dibagi dengan 296,18 mW yaitu sebesar Rp384,76 / mW

Tabel 4.20. Biaya / mW kondisi optimal (usulan) dan kondisi normal uji laboratorium

Kondisi Normal (Rp / mW)	Kondisi Optimal (Rp / mW)	Selisih (Rp / mW)
460,11	384,76	75,35

Selisih biaya / mW pada Tabel 4.20 jelas memperlihatkan bahwa biaya untuk setiap mW kondisi optimal (usulan) memberikan solusi lebih baik dengan nilai Rp384,76 dibanding kondisi normal Rp460,11. Kondisi optimal skala laboratorium memberikan pengurangan biaya listrik sel surya untuk setiap mW pada pemasangan awal sebesar Rp75,35 dibanding kondisi normal.

- **Hitungan biaya / mW kondisi normal pada uji lapangan**

Total biaya pemasangan awal berdasarkan Tabel 4.19 adalah Rp111.097,00.

Rata-rata nilai arus (I) dan tegangan (V) sel surya yang terukur sebesar 73,7 mA dan 8,07 V.

Rata-rata nilai daya (P) yang diperoleh sebesar arus (I) dikalikan dengan tegangan (V) yaitu 594,76 mW

Biaya / mW yang didapatkan Rp111.097,00 dibagi dengan 594,76 mW yaitu sebesar Rp186,79 / mW

- **Hitungan biaya / mW kondisi optimal pada uji lapangan**

Total biaya pemasangan awal berdasarkan Tabel 4.19 adalah Rp113.957,00.

Rata-rata nilai arus (I) dan tegangan (V) sel surya yang terukur sebesar 89,2 mA dan 8,16 V.

Rata-rata nilai daya (P) yang diperoleh sebesar arus (I) dikalikan dengan tegangan (V) yaitu 727,87 mW

Biaya / mW yang didapatkan Rp113.957,00 dibagi dengan 727,87 mW yaitu sebesar Rp156,56 / mW

Tabel 4.21. Biaya / mW kondisi optimal (usulan) dan kondisi normal uji lapangan

Kondisi Normal (Rp / mW)	Kondisi Optimal (Rp / mW)	Selisih (Rp / mW)
186,79	156,56	30,23

Selisih biaya / mW pada Tabel 4.21 jelas memperlihatkan bahwa biaya untuk setiap mW kondisi optimal (usulan) memberikan solusi lebih baik dengan nilai Rp156,56 dibanding kondisi normal Rp186,79. Kondisi optimal uji lapangan

memberikan pengurangan biaya listrik sel surya untuk setiap mW pada pemasangan awal sebesar Rp30,23 dibanding kondisi normal

