

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Kerangka Konsep

Energi matahari mulai dijadikan sebagai pilihan bagi pemenuhan kebutuhan energi karena penemuan mekanisme efek fotolistrik. Jumlah energi matahari melimpah, memiliki keberlangsungan yang sangat baik dan tidak menghasilkan gas buang merugikan seperti halnya pada pemanfaatan energi fosil. Diperkirakan bahwa bumi menerima sejumlah  $1000\text{W/m}^2$  radiasi cahaya matahari dalam sehari (Winston et al. dalam Sukki, 2010). Cara menghasilkan energi listrik dari energi matahari ini adalah dengan memanfaatkan sel fotovoltaik (Ekins dan Daukes dalam Sukki, 2010). Perangkat fotovoltaik yang digunakan untuk mengubah energi cahaya matahari disebut dengan sel surya. Sel surya mengkonversi cahaya matahari secara langsung menjadi energi listrik melalui proses penyerapan energi fisis cahaya matahari (Green, 1982). Hasil energi listrik dari konversi tersebut berupa arus listrik searah.

Potensi yang besar dalam pemanfaatan energi matahari menjadi energi listrik menggunakan teknologi sel surya dihadapkan pada permasalahan investasi besar pada tahap awal dan jangka waktu pengembalian yang lama (Jiang dan Wong dalam Sukki, 2010). Selain masalah tersebut, efisiensi sel surya juga menjadi tantangan dalam konversi energi matahari karena hanya 15-30% saja dari cahaya matahari yang diterima diubah menjadi energi listrik. Efisiensi sel surya tertinggi yang pernah tercatat adalah sebesar 41,1% berdasarkan riset yang

dilakukan di Institut Fraunhofer (Gutter et al. dalam Sukki, 2010). Jika dapat meminimalkan penggunaan sel surya sementara luaran yang dihasilkan dapat dioptimalkan maka produktifitas sel surya juga optimal (Osueke et al., 2011). Nilai produktifitas memberikan gambaran tentang seberapa optimal efisiensi sel surya dimanfaatkan.

Faktor intensitas cahaya memberi pengaruh besar terhadap luaran sel surya. Hal ini sesuai dengan pernyataan bahwa terdapat hubungan linier positif antara peningkatan jumlah radiasi cahaya matahari terhadap arus luaran dan efisiensi konversi, sedangkan nilai tegangan tidak banyak dipengaruhi (Ettah et al., 2011, Pepple et al., 2009). Menurut Luque dan Hegedus, 2003, efisiensi sel surya cenderung berkurang seiring kenaikan suhu operasi. Selain intensitas, arus luaran sel surya juga dipengaruhi oleh sudut jatuh cahaya. Kondisi cahaya tegak lurus terhadap bidang sel surya akan memaksimalkan arus yang dihasilkan karena penyinaran cahaya di permukaan sel surya merupakan fungsi antara sudut datang (cahaya langsung) dan garis normal bidang permukaan sel (Lab-Volt, 2009).

Suhu lingkungan dan kelembapan merupakan faktor alam yang tidak terkendali namun memiliki efek terhadap luaran sel surya. Setiap kenaikan  $1^{\circ}\text{C}$  suhu sel akan menurunkan daya luaran sebesar 0,45% (Garcia, 2008), sedangkan kelembapan tinggi meningkatkan penyerapan cahaya infra merah di udara (Shaltout, 2000). Menurut Garcia et al, 2008, suhu operasi sel surya dipengaruhi oleh suhu lingkungan, intensitas radiasi cahaya matahari, dan kecepatan angin. Faktor lain yang memiliki efek terhadap suhu adalah kemampuan konversi sel surya. Tidak semua panjang gelombang yang diradiasikan matahari dapat

dimanfaatkan sel surya. Energi foton kurang dari energi *band gap* tidak berkontribusi pada luaran sedangkan energi foton lebih besar berkontribusi pada energi *band gap* dan energi tersisa diatas *band gap* dibuang sebagai panas (Maghanga dan Mwamburi, 2012). Radiasi cahaya matahari panjang gelombang 300 – 1100 nm tidak menyebabkan pemanasan sel surya (Maghanga dan Mwamburi, 2012). Berdasarkan penjelasan faktor-faktor yang telah dikemukakan maka cara yang ditempuh dalam mengoptimalkan arus dan tegangan luaran sel surya adalah meningkatkan jumlah intensitas cahaya datang menggunakan sistim pemantul (konsentrator) dan melakukan seleksi panjang gelombang cahaya yang diteruskan ke arah sel.

Terdapat beberapa desain pemantul yang digunakan pada sel surya yaitu *parabolic, hyperboloid, fresnel lens, compound parabolic, dielectric totally internally reflecting, flat high concentration device, dan quantum dot concentrator* (Sukki et al., 2010). Semua desain pemantul tersebut memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, namun faktor yang menjadi permasalahan pada penerapan skala rumahan terletak di kerumitan pembuatan, perhitungan desain dan implementasi. Desain yang dapat diterapkan pada skala rumahan dengan tambahan biaya penggunaan pemantul murah adalah pemantul tipe *v-trough* (Sangani dan Solanki, 2007). Tipe pemantul ini hanya memanfaatkan dua pemantul datar di sisi-sisi sel surya dipasang pada posisi seperti huruf V. Menurut Sangani dan Solanki, 2007, sistem fotovoltaik menggunakan konsentrator tipe *v-trough* tidak dapat didesain memiliki tingkat konsentrasi lebih dari dua karena keterbatasan modul fotovoltaik konvensional

yang didesain hanya menerima intensitas satu matahari ( $1000\text{Watt/m}^2$ ) dan penggunaan ukuran pemantul yang tinggi. Penelitian serupa dari Aziz-UI, 2000 menunjukkan hasil yang menjanjikan dengan tingkat konsentrasi lebih dari dua kali.

Faktor homogenitas penyinaran menjadi pertimbangan dalam desain pemantul jenis *v-through*. Dengan menentukan sudut pelewatan (*through angle*  $\psi$ ) dan konsentrasi geometrik (C) yang tepat, penyinaran merata dan peningkatan intensitas cahaya dapat dicapai. Hasil penelitian Garcia et al., 2008 menggunakan bahan cermin datar dengan konsentrasi 2 dan 1,5 kali sudut pelewatan  $30^\circ$  menghasilkan peningkatan daya luaran maksimum sebesar 1,5 dan 1,2 kali sistem tanpa konsentrator. Penelitian lain dari Sangani dan Solanki, 2007 untuk *v-through* bahan *Anodized Aluminum* konsentrasi 2 kali sudut pelewatan  $15^\circ$  menunjukkan adanya peningkatan daya luaran sebesar 44% dibanding sistem tanpa konsentrator.

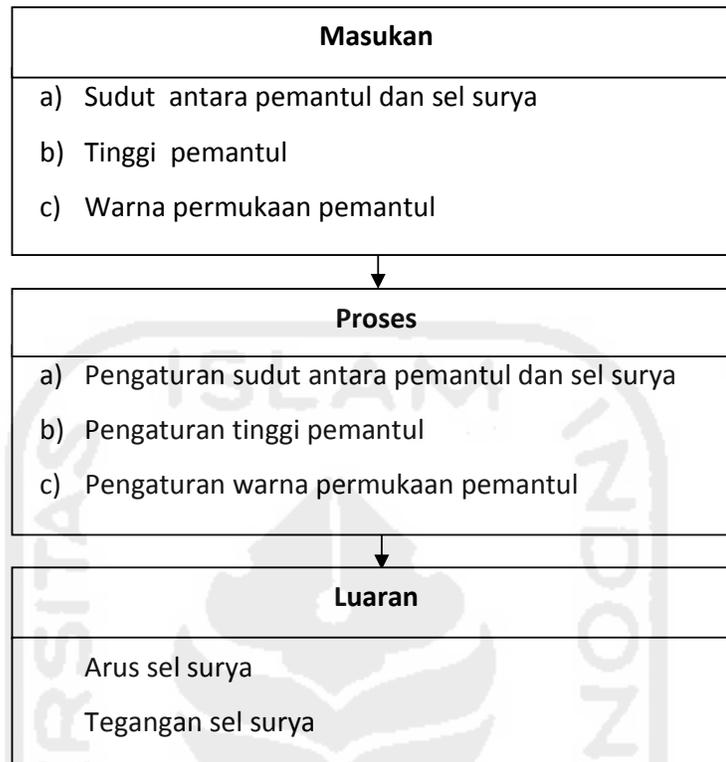
Pemilihan jenis bahan pemantul juga menjadi penting dalam pemantul tipe *v-through* karena memiliki reflektifitas berbeda. Bahan reflektifitas tinggi seperti kaca mampu meningkatkan arus luaran sel surya dengan tajam namun mengakibatkan sinar pantul tidak merata dan menimbulkan *hotspot* (Garcia et al., 2008). Penelitian Rizk dan Nagrial, 2009 mengenai penggunaan bahan aluminium, *stainless steel*, dan chrome film pada pemantul menunjukkan bahwa *chrome film* menghasilkan peningkatan daya luaran sebesar 27,65% terhadap aluminium dan 34,05% terhadap *stainless steel*. Walaupun bahan *chrome* menghasilkan kinerja baik namun demikian harganya mahal yaitu sekitar \$50

untuk sepasang pemantul. Penelitian lain yang sejenis mengenai penggunaan bahan pemantul yang dilakukan oleh Aziz-UI, 2000 menunjukkan bahwa alumunium mengkilat menghasilkan daya luaran maksimum  $140\text{W/m}^2$  untuk sel surya jenis *monocrystalline* dengan peningkatan suhu dan daya luaran sebesar  $7^\circ\text{C}$  dan 30%. Pemantul yang digunakan dalam penelitian Aziz-UI, 2000 menggunakan jenis *v-through* dengan konsentrasi 2,2 kali berbahan cermin datar, alumunium mengkilat, keramik warna putih. Pemantulan dari bahan logam dan kaca seperti yang telah digunakan dalam penelitian diatas termasuk jenis pemantulan *specular*. Efek pemantulan ini akan menimbulkan adanya kilauan dari permukaan bahan apabila dilihat dari sudut pandang tertentu. Jenis pemantulan yang lain disebut dengan *diffused reflection*. Cahaya pantulnya menyebar ke seluruh penjuru sehingga tidak timbul efek mengkilat dan *hotspot*. *Diffuse reflection* terjadi pada bahan-bahan dengan permukaan tidak halus (memiliki tingkat kekesaran permukaan tertentu), *matte appearance*, kertas, tanah liat dll.

Setiap jenis sel surya memiliki sensitifitas yang berbeda-beda terhadap panjang gelombang cahaya yang diterima. Menurut penelitian Shaltout, 2000, sel surya berbahan *amorphous* sensitif pada  $\lambda=0,522\mu\text{m}$ , polycrystalline silicon  $\lambda=0,922\mu\text{m}$  dan monocrystalline  $\lambda=0,704\mu\text{m}$ . Perbedaan ini jelas menunjukkan bahwa penting untuk melakukan seleksi terhadap panjang gelombang cahaya yang diteruskan atau dipantulkan ke arah sel surya. Hasil penelitian Sudhakar et al., 2013 mengenai efek filter berwarna terhadap kinerja modul fotovoltaik menunjukkan bahwa panjang gelombang cahaya memiliki berpengaruh pada kinerja sel surya. Diketahui juga dengan filter warna merah (paparan cahaya

merah) kinerja sel surya secara umum dapat ditingkatkan. Penelitian lain yang dilakukan Osueke et al., 2011 menunjukkan hasil yang berbeda mengenai paparan warna yang mampu meningkatkan efisiensi sel surya. Warna *violet* menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar 12,5 % dibanding 18% efisiensi maksimum yang dimiliki sedangkan warna hijau dan merah mengikuti. Keduanya menggunakan jenis sel surya yang sama yaitu *monocrystalline*.

Eksperimen dalam penelitian ini dilakukan untuk mengoptimasi arus dan tegangan luaran sel surya apabila intensitas cahaya datangnya ditingkatkan dengan pemantul *v-through*. Seleksi panjang gelombang cahaya pantul juga dilakukan dalam eksperimen agar diperoleh kesesuaian terhadap jenis sel surya. Pengaruh geometri pemantul (sudut pelewatan, rasio konsentrasi) dan warna permukaan akan diteliti didalam eksperimen. Guna mempermudah dalam pembuatan *v-through*, maka sudut pelewatan dikonversi menjadi sudut  $\alpha$  dengan cara mengurangi nilai  $90^\circ$  terhadap sudut pelewatan. Jika sudut pelewatan bernilai  $40^\circ$  maka sudut  $\alpha$  menjadi  $60^\circ$ . Tinggi pemantul dapat diubah selama percobaan sehingga mempengaruhi nilai rasio konsentrasi geometri. Untuk menyeleksi panjang gelombang cahaya pantul, permukaan bahan pemantul dicat dengan warna-warna tertentu yang ada dalam spektrum cahaya tampak. Metode Taguchi digunakan dalam proses desain eksperimen guna memperoleh optimasi luaran arus dan tegangan sel surya. Jumlah level faktor untuk setiap variabel bebas; sudut  $\alpha$ , tinggi pemantul, warna permukaan adalah tiga. Seluruh kombinasi eksperimen dalam penelitian dilakukan pada ruang tertutup (*confined space*) dengan intensitas cahaya tetap dari sebuah lampu halogen.



Gambar 3.1 Kerangka konsep penelitian.

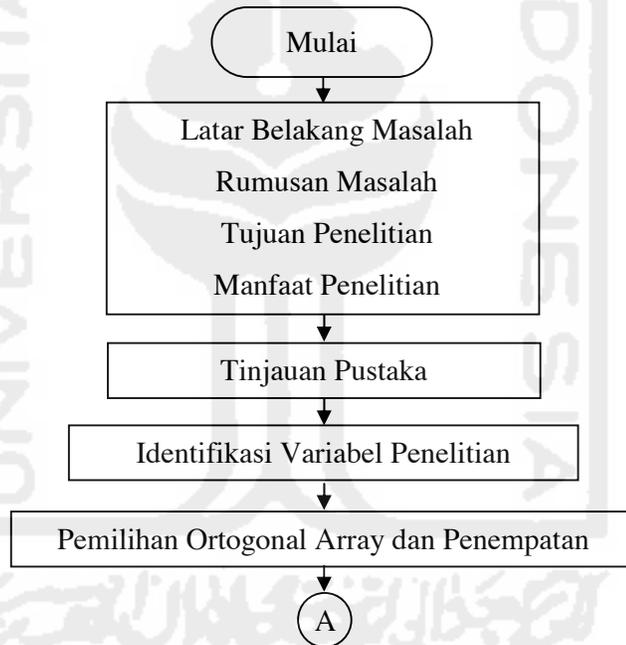
### 3.2 Hipotesis Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah maka jawaban sementara yang akan dibuktikan kebenarannya melalui penelitian ini adalah :

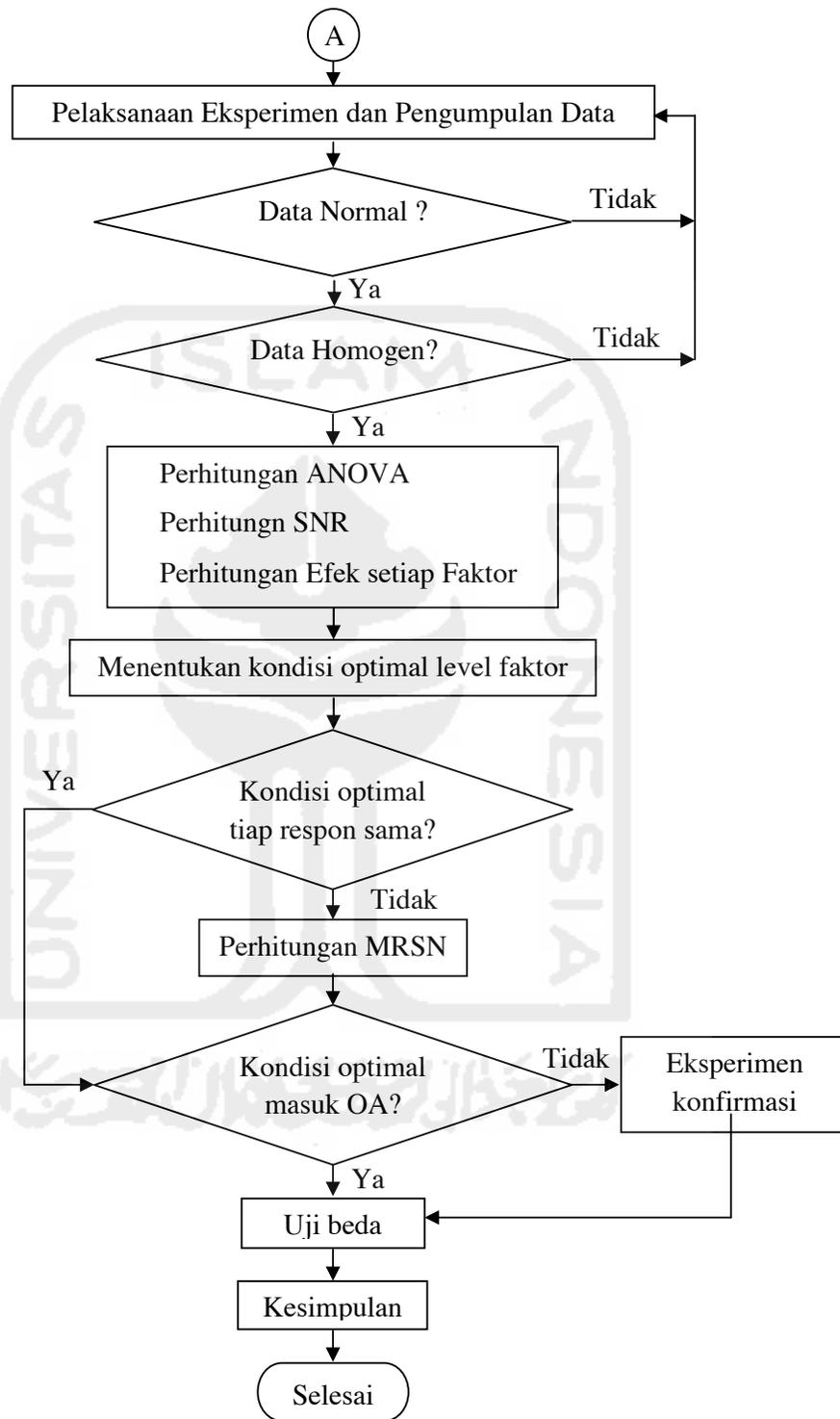
1. Faktor-faktor dalam pemantul tipe *v-through* yang berpengaruh terhadap arus dan tegangan luaran sel surya adalah sudut  $\alpha$ , tinggi dan warna permukaan pemantul.
2. Kombinasi level faktor optimal antara sudut  $\alpha$ , tinggi dan warna permukaan pemantul yang mampu mengoptimalkan arus dan tegangan luaran sel surya adalah  $65^\circ$ , 15 cm dan merah

### 3.3 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian memberikan gambaran keseluruhan urutan penelitian. Penelitian ini merupakan rancangan eksperimen untuk menentukan sudut pemasangan antara pemantul terhadap sel surya, tinggi pemantul dan warna permukaan pemantul agar diperoleh peningkatan luaran sel surya dalam hal arus dan tegangan pada saat diberikan beban resistif. Gambar 3.1 menunjukkan diagram alir penelitian.



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian



Gambar 3.2 Diagram alir penelitian (lanjutan)

### 3.4 Objek Penelitian

Objek yang akan diteliti adalah arus dan tegangan luaran sel surya yang nilainya dioptimalkan dengan cara meningkatkan perolehan intensitas cahaya memanfaatkan pemantul tipe *v-through*. Subjek penelitian adalah pemantul tipe *v-through* dengan jalan merubah level faktor sudut pemasangan antara pemantul dan sel surya (sudut  $\alpha$ ), tinggi pemantul (H) dan warna permukaan pemantul yang akan mempengaruhi nilai arus dan tegangan luaran.

### 3.5 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di Laboratorium Konversi Energi Akademi Teknologi Warga Surakarta. Pelaksanaan seluruh percobaan guna memperoleh data penelitian dilakukan pada sebuah ruang tertutup (*confined space*) yang telah dirancang sebelumnya.

### 3.6 Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian mengenai optimasi arus dan tegangan luaran sel surya menggunakan pemantul *v-trough* memiliki batasan-batasan sebagai berikut:

1. Pelaksanaan percobaan dilakukan pada sebuah ruang tertutup (*confined space*) dengan kondisi intensitas cahaya tetap.
2. Sumber cahaya yang digunakan adalah lampu halogen 500W dipasang posisi tegak lurus permukaan sel surya (*incidence angle* =  $0^\circ$ ) dengan asumsi memiliki intensitas cahaya 5% dari cahaya matahari.

3. Faktor kelembaban udara dan suhu lingkungan (*ambient temperature*) didalam ruang tertutup dijaga stabil.
4. Respon yang diukur dalam penelitian adalah arus dan tegangan luaran sel surya.
5. Sel surya yang digunakan jenis *polycrystalline* dimensi 6x12 cm dengan spesifikasi 7 V / 59 mA efisiensi 16%.
6. Mode pantulan pemantul adalah satu (N=1).
7. Pemasangan sel surya tidak menggunakan sudut kemiringan (*tilt angle*) sehingga berada di posisi horizontal terhadap lantai.
8. Beban yang diberikan pada sel surya selama pengujian berupa tahanan  $1\Omega$ .

### **3.7 Variabel Penelitian**

#### **3.7.1 Variabel bebas**

Variabel bebas adalah variabel yang menjadi sebab berubahnya atau timbulnya variabel terikat/variabel respon. Lebar modul sel surya, area pelewatan (*trough aperture*), sudut pelewatan (*trough angle*), reflektifitas bahan (*material reflectivity*), sudut penerimaan (*angular aperture*), dan sudut jatuh cahaya (*angle of incidence*) adalah variabel bebas yang melekat pada pemantul tipe *v-trough*. Variabel lebar modul sel surya, sudut jatuh cahaya datang dan sudut penerimaan tidak dipilih dalam penelitian ini karena harus memiliki nilai tetap sesuai kondisi pemakaian lapangan. Lebar modul sel surya bernilai tetap dalam penelitian karena hanya digunakan satu jenis sel surya dengan satu ukuran area tertentu.

Nilai sudut jatuh cahaya selalu diatur tetap pada  $0^\circ$  dengan tujuan menjaga kompatibilitas terhadap sistem penjejak pergerakan matahari. Untuk sudut penerimaan diatur tetap  $8^\circ$  karena memungkinkan perolehan cahaya paling banyak sementara tetap memenuhi persyaratan mode pemantulan  $N=1$  dan penyinaran merata pada sel surya. Variabel yang tersisa yaitu area pelewatan, sudut pelewatan dan reflektifitas bahan adalah variabel yang dipilih sebagai variabel bebas dalam penelitian.

Variabel area pelewatan dapat diatur dengan mengubah ukuran tinggi pemantul sedangkan sudut pelewatan dikonversi menjadi sudut  $\alpha$  guna mempermudah penerapan. Faktor reflektifitas bahan diatur dengan cara mengganti-ganti jenis bahan pemantul. Untuk setiap jenis bahan yang berbeda, kemampuan memantulkan panjang gelombang cahayanya juga berbeda. Menurut Luque dan Hegedus, 2003, *Spectral response* didefinisikan sebagai besarnya arus hubung singkat sel surya yang dihasilkan oleh sebuah panjang gelombang cahaya tertentu. Sesuai hasil penelitian Shaltout, 2000, yang menyatakan bahwa *spectral response* sel surya jenis *polycrystalline* berada pada  $\lambda=0,922\mu\text{m}$  dan adanya keterkaitan antara arus sel surya dengan panjang gelombang cahaya yang diterima maka diperlukan bahan pemantul yang mampu memantulkan sebanyak mungkin cahaya pada sekitar panjang gelombang tersebut untuk memaksimalkan konversi cahaya menjadi listrik searah. Guna memenuhi kondisi tersebut maka faktor warna bahan lebih dipilih daripada jenis bahan (reflektifitas bahan) karena dengan warna permukaan pemantul

dapat mengatur secara spesifik panjang gelombang cahaya yang akan dipantulkan ke arah sel surya. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka, variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini adalah sudut antara pemantul dan sel surya (sudut  $\alpha$ ), tinggi pemantul (H) dan warna permukaan pemantul. Berikut disajikan faktor dan level yang digunakan pada penelitian sesuai Tabel 3.1.

Tabel. 3.1. Faktor dan level

Faktor	Level			Satuan
	1	2	3	
A. Sudut $\alpha$	50	57	65	$^{\circ}$
B. Tinggi pemantul	6	11	15	cm
C. Warna pemantul	Hijau	Kuning	Merah	

### 3.7.2 Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas. Arus, tegangan, *Fill Factor*, efisiensi konversi dan produktifitas adalah variabel terikat yang melekat pada sebuah sel surya. Respon *Fill Factor*, efisiensi konversi dan produktifitas tidak dipilih sebagai variabel terikat dalam penelitian karena ketiganya tidak dapat diukur secara langsung (harus dihitung dengan rumus) dan karakteristiknya sudah diwakili oleh respon arus dan tegangan. Jika dilihat dari rumus baku dapat diketahui bahwa nilai *Fill Factor*, efisiensi konversi dan produktifitas sel surya akan meningkat seiring dengan peningkatan arus dan tegangan. Hal ini juga didukung oleh hasil penelitian Ettah et al., 2011 yang menyatakan bahwa terdapat hubungan

positif linier antara arus dan efisiensi seiring peningkatan intensitas cahaya. Peningkatan intensitas cahaya akan meningkatkan arus dan akhirnya memperbaiki efisiensi sel surya. Berdasarkan pertimbangan ini maka variabel terikat yang dipilih dalam penelitian ini adalah arus dan tegangan sel surya yang dioptimalkan menggunakan pemantul tipe *v-through*. Semakin tinggi nilai arus dan tegangan sel surya yang dihasilkan maka semakin baik sehingga karakteristik kualitas yang dimiliki kedua respon adalah LTB (*Larger the Better*).

### 3.8 Definisi Operasional Variabel

1. Sudut  $\alpha$  adalah sudut bagian luar yang terbentuk antara pemantul dan sel surya. Nilai sudut ini diperoleh dengan mengurangkan nilai  $90^\circ$  dengan besar sudut pelewatan (*through angle*). Sudut  $\alpha$  dapat mempengaruhi konsentrasi geometris pemantul tipe *v-through*. Pemilihan sudut yang tepat mampu meningkatkan perolehan intensitas cahaya dan menjaga penyinaran tetap merata. Nilai minimum dan maksimum sudut  $\alpha$  berada pada  $50^\circ - 65^\circ$  karena sudah mencakup seluruh kemungkinan guna mendapatkan penyinaran merata untuk mode pemantulan bernilai satu ( $N=1$ ). Penggunaan sudut paling besar  $65^\circ$  dan paling kecil  $50^\circ$  juga disebabkan oleh sudut penerimaan ( $\theta_u$ ) memiliki nilai terbesar yang dibolehkan untuk  $N=1$  pada jangkauan tersebut, sehingga level yang dipakai dalam penelitian adalah  $50^\circ$ ,  $57^\circ$ ,  $65^\circ$  (Fraidenraich, 1998).

2. Tinggi pemantul adalah ukuran tinggi bidang datar pada jenis pemantul *v-through*. Pemilihan tinggi yang tepat mampu meningkatkan perolehan intensitas cahaya sekaligus menjaga penyinaran tetap merata. Tinggi maksimum pemantul diambil 15cm karena pada ukuran tersebut pemantul memiliki nilai sudut  $\alpha$  terbesar dan sudut penerimaan ( $\theta_u$ ) terbesar yang dibolehkan untuk mode pemantulan bernilai satu. Nilai minimum tinggi pemantul diambil 6cm karena pada ukuran tersebut pemantul berada pada nilai sudut  $\alpha$  terkecil kedua dengan sudut penerimaan ( $\theta_u$ ) paling besar yang dibolehkan untuk mode pemantulan bernilai satu. Berdasarkan hal ini maka setelah dihitung level yang digunakan adalah 6cm, 11cm, 15cm (Fraidenaich, 1998).
3. Jenis warna pemantul adalah variasi warna yang digunakan pada permukaan pemantul. Penggunaan warna bertujuan untuk menentukan panjang gelombang ( $\lambda$ ) cahaya yang dipantulkan. Setiap warna cahaya memiliki panjang gelombang tertentu dan berbeda-beda. Semakin panjang  $\lambda$  dari cahaya yang jatuh pada sel fotovoltaik, maka semakin besar arus yang dihasilkan (Sudhakar, 2013). Menurut hasil penelitian yang dilakukan Sudhakar, 2013, warna merah, kuning, hijau menempati tiga besar dalam hal efisiensi dan daya luaran. Berdasarkan panjang gelombangnya, cahaya tampak warna merah memiliki  $\lambda$  paling panjang diikuti kuning dan hijau. Mengacu hal ini maka warna

merah dipilih sebagai level tertinggi dan hijau sebagai level terendah dengan urutan level merah, kuning, hijau.

4. Arus dan tegangan luaran sel surya adalah nilai arus dan tegangan listrik dc yang dihasilkan sel surya saat mengkonversi cahaya. Besar arus diukur pada kondisi rangkaian tertutup (*close circuit*) dengan memberi beban resistif  $1\Omega$  di terminal luaran, sedangkan besar tegangan diukur pada kondisi rangkaian terbuka. Arus diukur dengan amperemeter yang dipasangkan pada posisi seri terhadap tahanan sedangkan tegangan diukur menggunakan volmeter yang dipasangkan pada posisi parallel (Pepple et al., 2009). Semakin besar nilai arus dan tegangan sel surya untuk jumlah intensitas cahaya datang yang sama maka semakin optimal luarannya (Yates, 2003).

### **3.9 Alat Ukur yang digunakan**

Alat-alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Alat ukur arus

Amperemeter digunakan untuk mengukur arus luaran sel surya saat diberikan beban resistor  $1\Omega$ . Kemampuan ukur maksimum amperemeter yang digunakan mencapai 100mA DC. Alat ini merupakan jenis amperemeter digital yang dibuat menggunakan kontrol mikroprosesor AVR ATMEGA dan dikalibrasi terhadap amperemeter produk Sanwa Electric Instrument seri CD800a.

2) Alat ukur tegangan

Voltmeter digunakan untuk mengukur tegangan luaran sel surya saat tidak ada beban (rangkaiannya terbuka). Alat ukur yang digunakan merupakan voltmeter jenis digital dan dibuat menggunakan kontrol mikroprosesor AVR ATMEGA dengan kemampuan ukur dari 0-10V DC. Alat ukur ini telah dikalibrasi dengan voltmeter buatan Sanwa Electric Instrument seri CD800a.

3) Alat ukur intensitas cahaya

Pengukuran intensitas cahaya dilakukan untuk setiap kombinasi percobaan. Intensitas terukur merupakan intensitas cahaya pada ruang tertutup diukur dengan *Light meter* buatan ROHM semikonduktor seri BH1750FVI. Kemampuan maksimum *Light meter* mencapai 65535 lux dengan resolusi 1 lux.

4) Alat ukur sudut

Pengukuran sudut dilakukan pada saat melakukan perubahan sudut pemasangan pemantul terhadap sel surya. Alat ukur yang digunakan adalah sebuah busur derajat buatan butterfly.

### 3.10 Matrik *Orthogonal Array*

Pelaksanaan percobaan dilakukan dengan memvariasikan variabel bebas yaitu sudut antara pemantul dan sel surya ( $\alpha$ ), tinggi pemantul (H) dan warna permukaan pemantul dengan setiap faktor terdiri dari 3 level. *Orthogonal array* standar dengan 3 level ditunjukkan pada Tabel 3.2 dibawah ini. (Soejanto, 2009)

Tabel 3.2 *Orthogonal Array* standar dengan 3 level

<i>Orthogonal array 3 level</i>				
L9 (3 <sup>4</sup> )	L27 (3 <sup>13</sup> )	L 81 (3 <sup>40</sup> )	-	-

Untuk menentukan *Orthogonal array* yang sesuai dilakukan perhitungan terhadap derajat kebebasan pada eksperimen sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Derajat kebebasan} &= (\text{banyak faktor}) \times (\text{banyak level} - 1) \\ &= 3 \times (3 - 1) = 6 \text{ derajat kebebasan} \end{aligned}$$

Memilih matriks orthogonal yang sesuai dengan eksperimen adalah derajat kebebasan pada matriks orthogonal standar harus lebih besar atau sama dengan perhitungan derajat kebebasan pada eksperimen (Soejanto, 2009), sehingga *Orthogonal array* yang digunakan adalah L<sub>9</sub> (3<sup>4</sup>).

Sesuai grafik linier L<sub>9</sub> pada Gambar 2.6, jika hanya terdapat dua buah faktor dan keduanya saling berinteraksi maka kolom pertama dan kedua diisi dengan dua faktor tersebut sedangkan interaksi antar faktor ditempatkan di kolom ketiga dan keempat. Karena dalam penelitian hanya digunakan tiga buah faktor dan tidak terdapat interaksi maka, terdapat satu kolom terakhir dalam *Orthogonal array* standar L<sub>9</sub> yang tidak ditempati faktor. Kolom terakhir tersebut dinamakan sebagai kolom error dan isinya sama dengan kolom keempat *Orthogonal array* standar L<sub>9</sub>. *Orthogonal array* dan pengaturan parameter pengujian yang digunakan dalam eksperimen dapat ditunjukkan pada Tabel 3.3 dan 3.4

Tabel 3.3 *Orthogonal array*  $L_9(3^4)$

TRIAL	FAKTOR			
	A	B	C	e
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Tabel 3.4 Pengaturan parameter pengujian arus dan tegangan sel surya

TRIAL	Kombinasi Faktor Level	Faktor	Level
1	A1,B1,C1,e1	Sudut antara pemantul dan sel surya, ° Tinggi pemantul, cm Warna pemantul Error	50 6 Hijau 1
2	A1,B2,C2,e2	Sudut antara pemantul dan sel surya, ° Tinggi pemantul, cm Warna pemantul Error	50 11 Kuning 2
3	A1,B3,C3,e3	Sudut antara pemantul dan sel surya, ° Tinggi pemantul, cm Warna pemantul Error	50 15 Merah 3
4	A2,B1,C2,e3	Sudut antara pemantul dan sel surya, ° Tinggi pemantul, cm Warna pemantul Error	57 6 Kuning 3
5	A2,B2,C3,e1	Sudut antara pemantul dan sel surya, ° Tinggi pemantul, cm Warna pemantul Error	57 11 Merah 1
6	A2,B3,C1,e2	Sudut antara pemantul dan sel surya, ° Tinggi pemantul, cm Warna pemantul Error	57 15 Hijau 2

Tabel 3.4 Pengaturan parameter pengujian arus dan tegangan sel surya (lanjutan)

TRIAL	Kombinasi Faktor Level	Faktor	Level
7	A3,B1,C3,e2	Sudut antara pemantul dan sel surya, ° Tinggi pemantul, cm Warna pemantul Error	65 6 Merah 2
8	A3,B2,C1,e3	Sudut antara pemantul dan sel surya, ° Tinggi pemantul, cm Warna pemantul Error	65 11 Hijau 3
9	A3,B3,C2,e1	Sudut antara pemantul dan sel surya, ° Tinggi pemantul, cm Warna pemantul Error	65 15 Kuning 1

### 3.11 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data penelitian meliputi :

- a. Penelitian Eksperimental yaitu penelitian dengan melakukan riset operasional di laboratorium. Eksperimen dilakukan didalam sebuah ruang tertutup (*confined space*) dengan mengubah nilai sudut  $\alpha$ , tinggi pemantul dan warna pemantul dengan setiap faktor terdiri dari 3 level. Setiap kombinasi dalam percobaan dilakukan didalam ruang tertutup dengan kondisi pencahayaan tetap.
- b. Penelitian Literatur yaitu upaya mengumpulkan data dari berbagai bacaan baik dari jurnal penelitian, thesis, skripsi, maupun prosiding yang berguna bagi pelaksanaan penelitian.

### 3.12 Prosedur Penelitian

#### 3.12.1 Tahap persiapan

Tahap persiapan yang dilakukan sebelum proses penelitian meliputi:

1. Mendesain dan membuat ruang tertutup (*confined space*).
2. Menguji kelayakan ruang tertutup untuk digunakan dalam percobaan.
3. Mendesain dan membuat struktur penopang untuk menempatkan sel surya beserta bidang pemantul.
4. Mendesain dan membuat bidang pemantul.
5. Mendesain dan membuat alat ukur arus, tegangan, suhu, kelembapan, intensitas cahaya serta suhu sel surya.

#### 3.12.2 Tahap penelitian

Percobaan dilakukan menggunakan sel surya jenis *polycrystalline*. Sel surya digunakan pada dua macam kondisi berbeda dengan tujuan untuk membandingkan hasil luaran arus dan tegangan. Kedua sistem uji coba diletakkan horisontal terhadap tanah sehingga tidak memiliki sudut kemiringan. Sistem pertama (sistem referensi) hanya terdiri dari sel surya saja, berfungsi sebagai referensi arus, tegangan luaran dengan masukan intensitas cahaya normal tanpa konsentrasi. Sistem kedua (sistem terkonsentrasi), masukan intensitas cahayanya ditingkatkan melalui penggunaan pemantul tipe *v-through* yang dipasang disisi sisi terpanjang sel surya. Seluruh proses percobaan baik untuk sistem pertama maupun kedua dilakukan didalam ruang tertutup (*confined space*) supaya memperoleh intensitas cahaya tetap selama uji coba. *Confined space* merupakan

ruang eksperimen dengan sistem lingkungan tertutup dan terkendali khusus untuk keperluan pengujian (Ushada et al., 2014). Ruang ini berdimensi 60 x 60 x 85 cm<sup>3</sup> dilengkapi sumber cahaya lampu halogen daya 500W/220VAC buatan Krisbow dibagian atas sehingga radiasi cahayanya tegak lurus terhadap bagian bawah ruangan atau bidang muka sel surya (sudut jatuh cahaya mendekati 0°). Pengujian *confined space* dilakukan tanpa adanya sel surya dan pemantul *v-through* dengan cara mengukur intensitas cahaya ruangan. Suhu dan kelembapan *confined space* berubah tergantung panas yang dihasilkan lampu sedangkan intensitas cahayanya selalu tetap.

Struktur penyangga pemantul memungkinkan perubahan sudut  $\alpha$  permukaan sel surya dan pemantul antara 50°, 57°, 65°. Tinggi pemantul dapat diubah-ubah dengan ukuran 6cm, 11cm, 15cm. Warna pemantul diganti warna merah, kuning atau hijau untuk menentukan jenis warna yang memberikan kontribusi optimal terhadap daya luaran sel surya. Kombinasi ketiga parameter dapat diubah-ubah dan disesuaikan selama percobaan sesuai dengan *array orthogonal* pada metode Taguchi yang sudah ditetapkan. Proses pengambilan data arus serta tegangan dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap kombinasi percobaan. Berdasarkan data yang diperoleh selama percobaan, maka ditentukan nilai optimal dari tiap variabel dan kemudian dilakukan \_perbandingan antara sistem referensi (tanpa pemantul) dengan sistem terkonsentrasi (dengan pemantul).

### 3.12.3 Tahap analisis

Tahap pengolahan data dilakukan guna menganalisis data hasil eksperimen secara statistik sehingga diperoleh suatu rancangan parameter yang optimal. Tahap – tahap analisis hasil eksperimen yaitu :

a. Uji normalitas data

Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah data sampel penelitian yang diperoleh memiliki distribusi normal atau berasal dari populasi berdistribusi normal. Uji normalitas yang digunakan dalam penelitian adalah Kolmogorov-Smirnov.

b. Uji homogenitas variansi

Setelah diketahui bahwa data sampel mengikuti distribusi normal, selanjutnya dilakukan uji homogenitas variansi. Uji yang digunakan dalam penelitian ini untuk menentukan homogenitas k buah ( $k \geq 2$ ) variansi populasi berdistribusi normal adalah uji Barlett.

c. Analisis variansi

Setelah diketahui data sampel penelitian memiliki distribusi normal dan homogen maka dilakukan proses analisis variansi. Analisis variansi digunakan untuk mengetahui faktor yang berpengaruh signifikan terhadap variabel respon yang diuji.

d. Menghitung nilai *signal to noise ratio* ( SNR ) hasil eksperimen berdasarkan karakteristik mutu tujuan. Karakteristik kualitas yang digunakan dalam penelitian ini menganut pada *Larger-the-Better* (LTB) dimana semakin besar nilainya, maka kualitas semakin baik.

e. Menghitung Efek Tiap Faktor

Perhitungan efek tiap faktor dapat dilakukan terhadap nilai SNR

f. Menentukan Kondisi Optimal Level Faktor

Apabila kondisi optimal tiap respon sama dan masuk dalam *orthogonal array* maka langsung dilakukan uji beda. Perhitungan *Multi Response Signal to Noise Ratio* (MRSN) perlu dilakukan hanya jika kombinasi level faktor optimal dari variabel respon berbeda satu sama lain. Uji beda dapat langsung dilakukan jika hasil MRSN berada dalam *orthogonal array* dan jika tidak maka perlu eksperimen konfirmasi terlebih dahulu.

g. Menghitung *Multi Response Signal to Noise Ratio* (MRSN)

Perhitungan *Multi Response Signal to Noise Ratio* (MRSN) dilakukan untuk mencari level faktor optimal jika kombinasi level faktor optimal dari variabel respon berbeda satu sama lain.

h. Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilakukan dengan menggunakan SNR pada kondisi optimum untuk mendapatkan  $\mu$  prediksi. Kemudian hasil prediksi tersebut dibandingkan dengan eksperimen konfirmasi

i. Uji beda

Uji beda dilakukan untuk mengetahui dan membuktikan apakah data hasil eksperimen konfirmasi berbeda dengan hasil prediksi ataukah sama.