

Analisis Simulasi Water Cooler Pada Sel Surya

Analysis A Water Cooler Simulator on A Solar Cell

I Wayan Teresna¹, I Nengah Suparta^{1*}

¹Program Studi Teknik Otomasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali, Kampus Bukit Jimbaran, Badung, Bali, Indonesia, 80364

Email: teresna1969@gmail.com, *nengahsupartast01@gmail.com

Abstrak – Energi terbarukan merupakan energi yang prosesnya berkelanjutan jika dikelola dengan baik. Salah satu daya maksimal saat suhu pada permukaan sel surya 25°C. Oleh karena itu dilakukan penelitian untuk mengoptimalkan atau meningkatkan tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sel surya dengan cara menganalisis simulasi water cooler pada sel surya untuk mempertahankan suhu pada permukaan sel surya sebesar 31°C. Penelitian ini dilakukan dengan pengukuran suhu, tegangan dan arus sebelum menggunakan simulasi water cooler dan setelah menggunakan simulasi water cooler. Hasil penelitian menunjukkan setelah menggunakan simulasi water cooler terdapat peningkatan tegangan sebesar 1,02 V pada cuaca cerah dan 0,92 V saat cuaca berawan, peningkatan arus sebesar 0,72 A saat cuaca cerah dan 0,70 A saat cuaca berawan, peningkatan daya sebesar 18,37 W saat cuaca cerah dan 16,26 W saat cuaca berawan.

Kata kunci: Sel surya; simulasi water cooler; energi terbarukan; daya maksimal

Abstract – Renewable energy is energy whose process is sustainable if managed properly. One of the uses of renewable energy is Solar Power Generation (PLTS). However, the temperature rise in the solar module is very influential on the voltage and electric current generated, because the solar cell will get maximum power when the temperature on the surface of the solar cell is 25 ° C. Therefore, research is carried out to optimize or increase the voltage and current generated by solar cells by analysis a water cooler simulation to solar cells to maintain the temperature on the surface of solar cells by 31 ° C. This research was carried out by measurements of temperature, voltage and current before using a water cooler simulation and after using a water cooler simulation. The results showed after using a water cooler simulation there was an increase in voltage of 1.02 V in sunny weather and 0.92 V in cloudy weather, an increase in current of 0.72 A during sunny weather and 0.70 A in cloudy weather, an increase in power of 18.37 W when the weather is sunny and 16.26 W when the weather is cloudy.

Keywords: Solar cells; water cooler simulation; renewable energy; maximum power.

1. Pendahuluan

Energi terbarukan merupakan energi yang prosesnya berkelanjutan jika dikelola dengan baik. Penggunaan energi terbarukan untuk mengurangi pemakaian sumber bahan bakar fosil lebih cepat habis dan tidak ramah lingkungan karena mengandung hidrokarbon. Salah satu pemanfaatannya adalah PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) saat ini sangat banyak digunakan karena Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki kelebihan pada sinar matahari dengan tingkat radiasi harian matahari rata - rata yang relatif tinggi yaitu 4,5 (kWh/m²) /hari karena terletak pada garis khatulistiwa. Pembangkit listrik tenaga surya ini sudah semakin banyak dikembangkan karena merupakan energi yang ramah lingkungan. Sudah banyak PLTS yang tersebar di Indonesia salah satunya di Provinsi Bali yaitu PLTS Kayubihi yang memiliki kapasitas sebesar 1 MWp yang menjadi sumber listrik dari Desa Kayubihi Bangli. Pembangkit listrik tenaga surya memiliki komponen antara lain modul surya, baterai, inverter, dan *charge controller*. Pada pembangkit listrik tenaga surya, penyerapan radiasi cahaya matahari oleh modul surya lalu diubah menjadi arus listrik yang akan mengisi baterai yang telah dihubungkan ke *charge controller* sebagai pengatur arus yang masuk ke baterai dan mencegah *overcharging* lalu baterai dihubungkan ke inverter DC ke AC.

Modul surya adalah kumpulan beberapa dari sel surya, dan panel surya adalah kumpulan dari beberapa modul surya. Jadi sel surya adalah sebuah elemen semikonduktor yang dapat mengkonversi energi surya menjadi energi listrik dengan prinsip fotovoltaiik. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh modul surya dipengaruhi oleh tingkat intensitas radiasi cahaya matahari dan suhu udara lingkungan. Intensitas

radiasi cahaya matahari berbanding lurus dengan tegangan dan arus listrik yang dihasilkan sel-sel surya. Jika suhu semakin tinggi dengan intensitas radiasi cahaya matahari yang tetap maka tegangan yang dihasilkan oleh sel-sel surya akan berkurang dan arus listrik akan bertambah [1]. Sel surya akan mendapatkan tegangan maksimal pada saat intensitas cahaya matahari yang tinggi dan suhu pada sel surya sebesar 25°C.

Kenaikan suhu pada modul surya sangat berpengaruh pada tegangan dan arus listrik yang dihasilkan, semakin tingginya suhu dengan intensitas cahaya yang tetap akan mengakibatkan turunnya tegangan dan arus listrik yang dihasilkan [2]. Penggunaan metode *cooler* atau pendingin pada sel-sel surya sangat populer digunakan [3]. Fungsi dari *cooler* adalah untuk menurunkan suhu pada permukaan sel surya dan meningkatkan *output* yang dihasilkan sel surya. Seperti penelitian sebelumnya oleh Mursalim [4] penurunan suhu pada permukaan sel surya mempengaruhi kinerja sel surya sehingga ketika suhu pada permukaan sel surya mendekati suhu nominalnya kerja sel surya menjadi lebih baik dan Chaniotakis [5] menyelidiki air dan udara dalam sistem gabungan sebagai zat pendingin dan hasilnya sistem pendingin berbasis air dapat meningkatkan kinerja sel surya lebih tinggi. Dalam tulisan ini yang berjudul “Analisis Simulasi *Water Cooler* Pada Sel Surya”. Analisis simulasi *water cooler* ialah merupakan sebuah proses penurunan suhu permukaan sel surya menggunakan air. Dari simulasi ini penulis mengukur suhu permukaan sel surya, arus hubung singkat yang dihasilkan dan tegangan rangkaian terbuka yang dihasilkan. Proses data dengan menggunakan rumus untuk mendapatkan daya masukan dan efisiensi dari sel surya. Analisis simulasi *water cooler* ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh suhu permukaan sel surya dengan daya yang dihasilkan pada saat sebelum dan sesudah menggunakan simulasi *water cooler*.

2. Landasan Teori

Edmund Bequerel adalah seorang fisikawan asal Perancis yang mencatat efek fotolistrik pada tahun 1839. Dia menemukan bahwa bahan-bahan tertentu memiliki sifat untuk menghasilkan sejumlah kecil arus listrik ketika terkena sinar matahari. Pada tahun 1905, Albert Einstein memaparkan sifat cahaya dan efek fotolistrik yang telah menjadi prinsip dasar untuk teknologi panel surya. Modul panel surya pertama dibuat di laboratorium Bell pada tahun 1954.

Panel surya adalah alat yang terdiri dari sel surya yang mengubah cahaya menjadi energi listrik. Disebut juga surya atau matahari atau "sol" karena matahari merupakan sumber cahaya terkuat yang dapat dimanfaatkan. Panel surya sering kali disebut sel *photovoltaic*, *photovoltaic* dapat diartikan sebagai "cahaya listrik". Sel surya bergantung pada efek *photovoltaic* untuk menyerap energi.

Pada umumnya, sel surya merupakan sebuah hamparan semikonduktor yang dapat menyerap photon dari sinar matahari dan mengubahnya menjadi listrik. Sel surya tersebut dari potongan silikon yang sangat kecil dengan dilapisi bahan kimia khusus untuk membentuk dasar dari sel surya. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif.

Pada sel surya terdapat sambungan (function) antara dua lapisan tipis yang terbuat dari bahan semikonduktor yang masing-masing yang diketahui sebagai semikonduktor jenis “P” (*positif*) dan semikonduktor jenis “N” (*negatif*). Silikon jenis P merupakan lapisan permukaan yang dibuat sangat tipis supaya cahaya matahari dapat menembus langsung mencapai *junction*. Bagian P ini diberi lapisan nikel yang berbentuk cincin, sebagai terminal keluaran *positif*. Dibawah bagian P terdapat bagian jenis N yang dilapisi dengan nikel juga sebagai terminal keluaran *negatif*. Sel surya ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Sel surya [6].

Efek perubahan suhu pada sel surya, sel surya akan bekerja secara optimum pada suhu konstan yaitu 25°C. Jika suhu di sekitar sel surya meningkat melebihi 25°C, maka akan mempengaruhi *fill factor* sehingga tegangan akan berkurang. Selain itu, efisiensi sel surya juga akan menurun beberapa persen. Sedangkan sebaliknya, arus yang dihasilkan akan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu pada sel surya.

2.1 Faktor pengisi

Faktor pengisi adalah ukuran kualitas dari sel surya dapat diketahui dengan membandingkan daya maksimum teoritis dan daya *output* pada tegangan rangkaian terbuka dan penghubung pendek. Setiap jenis sel surya memiliki hasil faktor pengisi seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor pengisi sel surya [7].

Jenis sel surya	Faktor pengisi (%)
<i>Crystalline Silicon</i>	82,8
GaAs	86,5
CIGS	79,2
<i>Dye-sensitized</i>	71,2
Organik	68,9

Faktor pengisi yaitu parameter yang menyatakan seberapa besar $I_{sc} \times V_{oc}$ dari daya maksimum $V_{mp} \times I_{mp}$ yang dihasilkan sel surya. Faktor pengisi dapat dilihat pada Persamaan (1).

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (1)$$

Dimana V_{mp} adalah tegangan maksimal (V), I_{mp} adalah arus maksimal (A), V_{oc} adalah tegangan rangkaian terbuka (V), I_{sc} adalah arus hubung singkat (A).

2.2 Daya masuk

Daya masuk (P_{in}) merupakan penyerapan energi dari intensitas radiasi matahari oleh sel surya yang diperoleh dari perkalian antara intensitas radiasi matahari yang diterima dengan luas permukaan sel surya. daya masuk dapat dilihat pada Persamaan (2).

$$P_{in} = E \times A \quad (2)$$

Dimana P_{in} adalah daya masuk (W), E adalah intensitas radiasi matahari (W/m^2), A adalah luas permukaan sel surya (m^2).

2.3 Daya keluaran

Daya keluaran (P_{out}) pada sel surya yaitu energi yang dihasilkan oleh sel surya setelah mendapatkan energi dari intensitas radiasi cahaya matahari yang diperoleh dari perkalian tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}) dengan arus hubung singkat (I_{sc}) dan faktor pengisi (FF) yang dihasilkan oleh sel surya. daya keluaran dapat dilihat pada Persamaan (3).

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \quad (3)$$

Dimana P_{out} adalah daya keluaran (W), V_{oc} adalah tegangan rangkaian terbuka (V), I_{sc} adalah arus hubung singkat (A), FF adalah faktor pengisi.

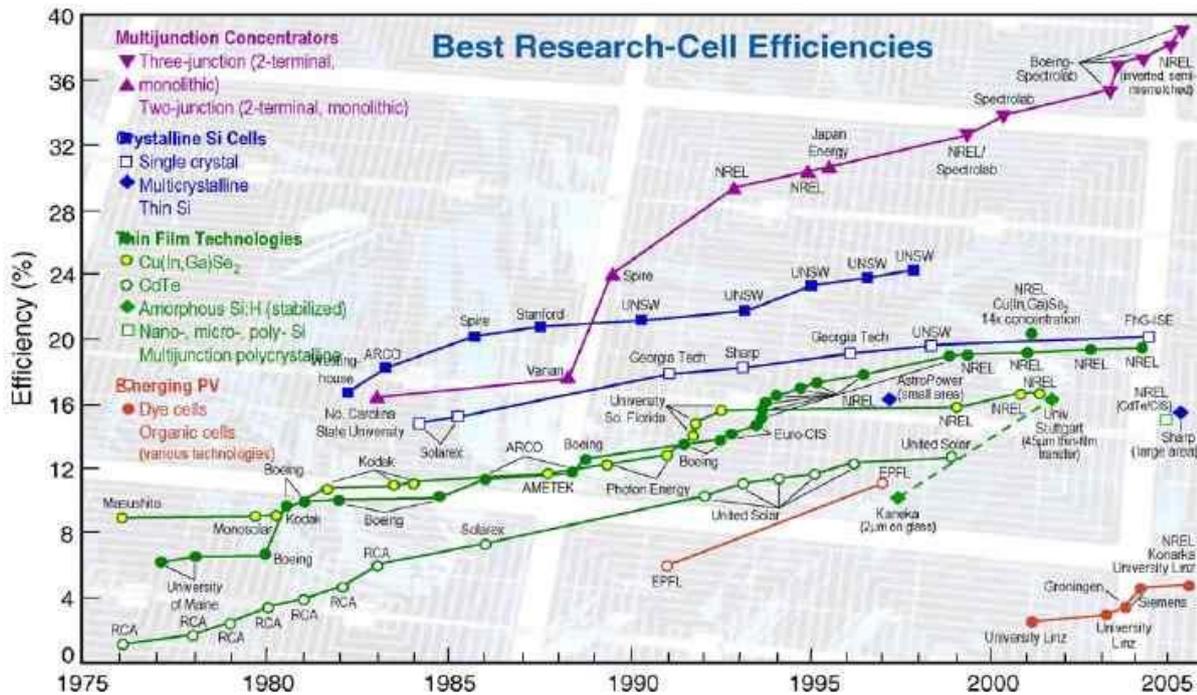
2.4 Efisiensi sel surya

Efisiensi sel surya (η) merupakan persentase energi surya untuk sel yang terkena tidak diubah menjadi listrik. Saat ini hampir semua sel surya memiliki efisiensi minimum 12 % dengan batas optimal kira-kira 39%, tergantung dari jenis sel surya yang dibuat. Berikut merupakan persentase efisiensi semua jenis sel surya dapat dilihat pada Gambar 2.

Efisiensi sel surya diperoleh dari perbandingan daya keluaran dengan daya masukan sel surya. Efisiensi sel surya dapat dilihat pada Persamaan (4).

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (4)$$

Dimana η adalah efisiensi sel surya (%), P_{in} adalah daya masuk (W), dan P_{out} adalah daya keluaran (W).



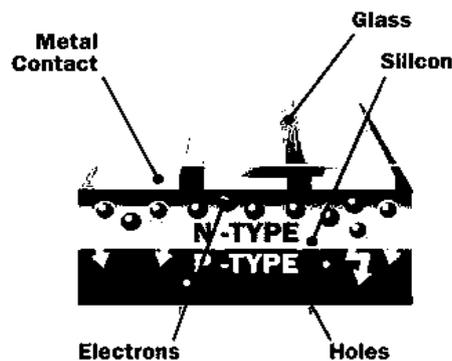
Gambar 2. Efisiensi sel surya [8].

2.5 Prinsip kerja sel surya

Prinsip kerja sel surya adalah berdasarkan konsep semikonduktor p-n *junction*. Sel terdiri dari lapisan semikonduktor doping-n dan doping-p yang membentuk p-n junction, lapisan antirefleksi, dan substrat logam sebagai tempat mengalirnya arus dari lapisan tipe-n (elektron) dan tipe-p (*hole*).

Semikonduktor tipe-n didapat dengan mendoping silikon dengan unsur dari golongan V sehingga terdapat kelebihan elektron valensi dibanding atom sekitar. Pada sisi lain semikonduktor tipe-p didapat dengan doping oleh golongan III sehingga elektron valensinya defisit satu dibanding atom sekitar. Ketika dua tipe material tersebut mengalami kontak maka kelebihan elektron dari tipe-n berdefusi pada tipe-p. Sehingga area doping-n akan bermuatan *positif* sedangkan area doping-p akan bermuatan *negatif*. Medan elektrik yang terjadi pada keduanya mendorong elektron kembali ke daerah-n dan hole ke daerah-p. Pada proses ini telah terbentuk p-n *junction*. Dengan menambahkan kontak logam pada area p dan n maka telah terbentuk dioda.

Ketika *junction* disinari, proton yang mempunyai energi sama atau lebih besar dari lebar pita energi material tersebut akan menyebabkan eksitasi elektron dari pita valensi ke pita konduksi dan akan meninggalkan *hole* pada pita valensi. Elektron dan *hole* ini dapat bergerak dalam material sehingga menghasilkan pasangan elektron-hole. Apabila ditempatkan hambatan pada terminal sel surya, maka elektron dari area-n akan kembali ke area-p sehingga menyebabkan perbedaan potensial dan arus akan mengalir. Skema cara kerja sel surya dapat dilihat dari Gambar 3.

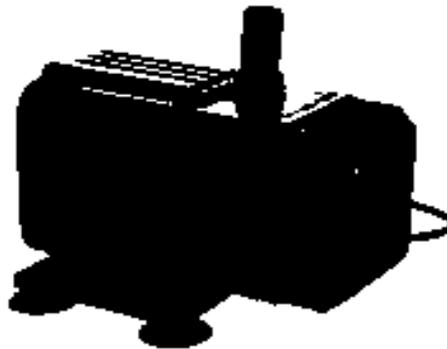


Gambar 3. Prinsip kerja sel surya [9].

2.6 Pompa air

Pompa adalah mesin atau peralatan mekanis yang digunakan untuk menaikkan cairan dari dataran rendah ke dataran tinggi atau untuk mengalirkan cairan dari daerah bertekanan rendah ke daerah bertekanan tinggi dan juga sebagai penguat laju aliran pada suatu sistem jaringan perpipaan. Hal ini dicapai dengan membuat suatu tekanan yang rendah pada sisi masuk atau *suction* dan tekanan yang tinggi pada sisi keluar atau *discharge* dari pompa.

Pompa juga dapat digunakan pada proses-proses yang membutuhkan tekanan *hidroulik* yang besar. Hal ini bisa dijumpai antara lain pada peralatan-peralatan berat. Dalam operasi, mesin-mesin peralatan berat membutuhkan tekanan *discharge* yang besar dan tekanan isap yang rendah. Akibat tekanan yang rendah pada sisi isap pompa maka fluida akan naik dari kedalaman tertentu, sedangkan akibat tekanan yang tinggi pada sisi *discharge* akan memaksa fluida untuk naik sampai pada ketinggian yang diinginkan dan pada penggunaan pompa pada saat ini adalah pompa air aquarium yang digunakan untuk daerah *indoor* saja. Pompa air *type submersibel* ditunjukkan oleh Gambar 4. Pompa *submersible* tidak memiliki spesifikasi daya isap selayaknya model pompa air permukaan, ia hanya memiliki kapasitas total *head* (meter) dan power yang diukur dengan satuan (pk) serta kapasitas debit air yang menggunakan satuan liter per detik (1/sec).



Gambar 4. Pompa air *type submersible* [10].

2.7 Water cooler

Water cooler adalah metode pendinginan dengan menggunakan air, dimana pendingin ini dilakukan pada permukaan sel surya yang berfungsi untuk menurunkan suhu dengan cara memindahkan panas dari suatu bidang ke air atau udara pada permukaan sel surya. Perpindahan panas dasarnya merupakan perpindahan energi dari suatu tempat ke tempat yang lain dan ada perbedaan suhu di antara dua bagian benda. Panas akan pindah dari suhu tinggi ke suhu rendah [11]. Pada proses pendinginan dengan metode ini dibantu dengan pompa air sebagai komponen pendukung dan juga pipa yang telah diberi lubang pada badan pipa tersebut agar air dapat mencapai seluruh permukaan sel surya.

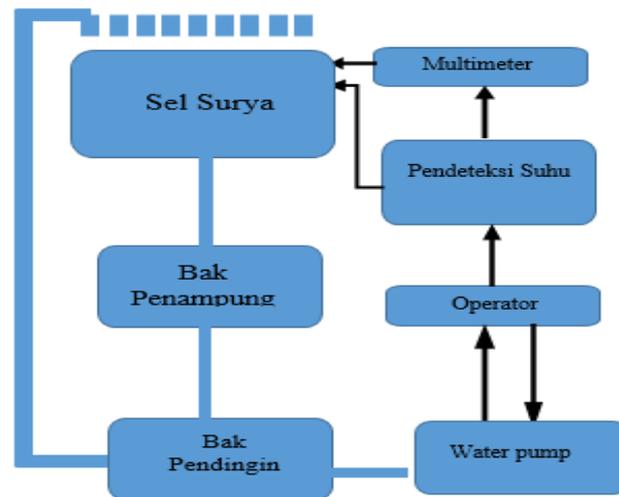
3. Metode Penelitian

3.1 Perancangan blok diagram alat

Perancangan blok diagram simulasi *water colour* dapat dilihat pada Gambar 5. Prinsip kerja alat sebagai berikut:

- Sel surya berfungsi sebagai penghasil energi terbarukan dan sebagai objek utama dalam penelitian.
- Multimeter berfungsi sebagai pengukur tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sel surya.
- Pendeteksi suhu berfungsi sebagai pengukur suhu pada permukaan sel surya.
- Operator sebagai pengatur nyala dan matinya pompa yang mengalirkan air ke permukaan sel surya, saat operator menekan tombol *on* pada stop kontak maka pompa menyala dan ketika operator menekan tombol *off* maka pompa mati. Lalu operator mengukur arus dan tagangan menggunakan multimeter dan mengukur suhu pada permukaan sel surya menggunakan IR Thermometer.
- Water pump Summersible* digunakan untuk mengalirkan ke permukaan sel surya melalui pipa penyemprot berukuran 3/4 inchi yang dilubangi pada bagian badan pipa sebanyak 10 lubang dengan menyesuaikan ukuran pada sel surya.
- Bak pendingin berkapasitas 8 L yang digunakan sebagai tempat air untuk pompa menyedot air untuk pendinginan permukaan sel surya.

Bak penampung berkapasitas 8 L yang digunakan sebagai tempat pembuangan air setelah mendinginkan permukaan sel surya, lalu air kembali dialirkan ke bak pendingin.



Gambar 5. Diagram blok sistem.

3.2 Diagram alir

Diagram alir simulasi *water cooler* pada sel surya dapat dilihat pada Gambar 6.

Keterangan diagram alur:

- Pertama penempatan sel surya yang sudah dipasang pada bracket lalu ditempatkan di bawah sinar matahari.
- Selanjutnya pemasangan komponen simulasi *water cooler* pada sel surya seperti pada gambar perancangan simulasi.
- Setelah komponen terpasang maka pompa air akan dinyalakan oleh operator dengan menekan tombol *on* pada stop kontak.
- Setelah pompa air bekerja maka air akan mengalir permukaan sel surya melalui pipa penyemprot yang sudah di pasang.
- Pompa akan bekerja dan air terus mengalir permukaan sel surya sampai suhu pada permukaan sel surya 31°C . Sel surya akan menghasilkan daya yang maksimal saat suhu 25°C , karena faktor suhu udara yang ada di Bali yang mencapai 31°C maka suhu terendah yang bisa didapatkan adalah 29°C .
- Setelah suhu pada permukaan sel surya 31°C maka pompa akan mati, jika suhu pada permukaan sel surya tidak mencapai 31°C maka pompa akan terus bekerja untuk mengalir permukaan sel surya hingga suhu pada permukaan sel surya 31°C .
- Pompa akan dimatikan oleh operator dengan menekan tombol *off* pada stop kontak.

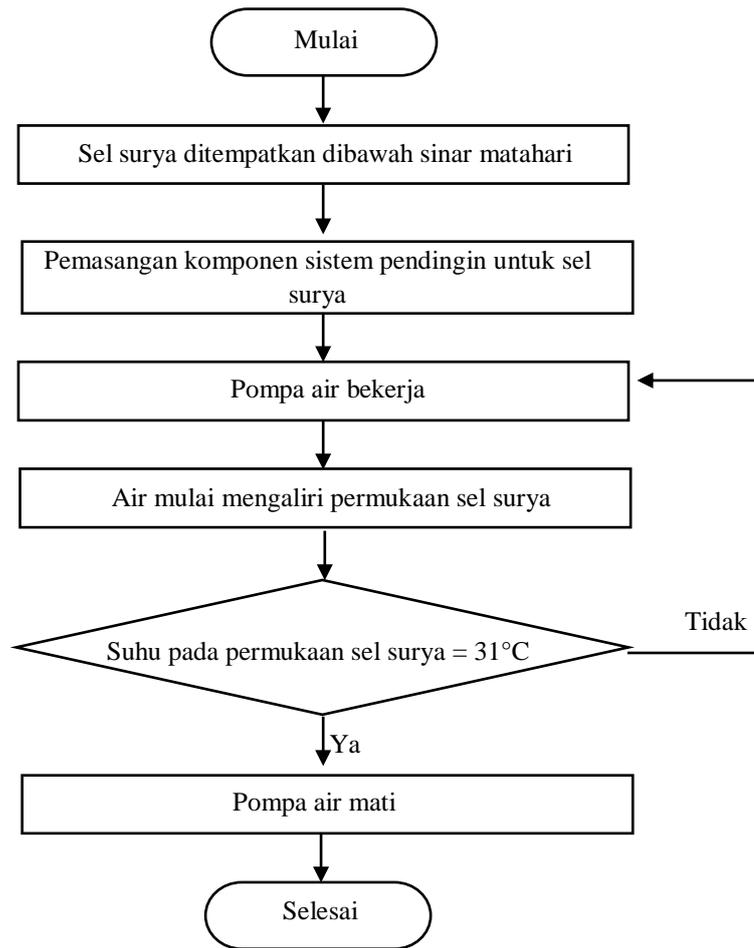
3.3 Pembuatan alat/sistem

Pada proses pembuatan simulasi *water cooler* pada sel surya ini dapat dilakukan melalui tahapan-tahapan yaitu kebutuhan alat dan bahan, spesifikasi komponen, proses pengelasan rangka solar sel dan pemasangan simulasi *water cooler*. Pemasangan komponen simulasi *water cooler* yang terdiri dari pipa penyemprot berukuran 3/4 inchi yang telah dilubangi bagian badan pipanya sebanyak 10 lubang dengan menyesuaikan ukuran permukaan panel, talang air untuk pembuangan berukuran 6 inchi, pipa 1/2 inchi dan selang 3/4 inchi yang tersambung ke pompa *summersible*, bak pendingin berkapasitas 8 L, bak penampung berkapasitas 8 L ditempatkan pada tempat yang lebih tinggi agar air yang suhunya dingin mengalir lebih dulu dari pada air yang suhunya panas, karena air dingin lebih berat dari pada air panas dan air dapat dialiri kembali ke bak pendingin melalui pipa yang sudah di pasang stop kran ukuran 3/4 inchi. Simulasi *water cooler* keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 7.

4. Data dan Pembahasan

4.1 Pengujian sel surya keadaan optimal

Dari pengujian sel surya dalam keadaan optimal atau dalam keadaan sesuai *standart test condition (STC)*, maka didapatkan hasil sebagai berikut. Dari data yang didapat dari pengujian sel surya dalam keadaan optimal



Gambar 6. Diagram alir perancangan simulasi *water cooler* pada sel surya.



Gambar 7. Simulasi *water cooler* keseluruhan.

atau dalam keadaan sesuai *standart test condition (STC)* seperti Tabel 2 didapatkan nilai faktor pengisi dari Persamaan (1) yaitu 0,771% dimana nilai tersebut sudah sangat baik kualitas kinerja dari sel surya tipe *polycrystalline* 50 Wp, lalu daya masukan maksimal dari Persamaan (2) yang dihasilkan dari sel surya

polycrystalline 50 Wp adalah 361,8 W, daya keluaran maksimal dari Persamaan (3) yang dihasilkan dari sel surya *polycrystalline* 50 Wp adalah 50,03 W, dan efisiensi dari Persamaan (4) yang dihasilkan dari sel surya *polycrystalline* 50 Wp adalah 13,82%. Efisiensi sel surya dapat dianalisis tergantung pada bahan yang digunakan, umumnya efisiensi sel surya yang menggunakan silikon berkisar pada 12-15%, dengan nilai efisiensi 13,82% sel surya *polycrystalline* 50 Wp dianalisis sangat baik untuk sel surya jenis silikon.

Tabel 2. Data hasil *standar test condition*.

Max. Power (P_{max})	50 Wp
Max. Power Voltage (V_{mp})	17,5 V
Max. Power Current (I_{mp})	2,86 A
Open Circuit Voltage (V_{oc})	21,0 V
Short Circuit Current (I_{sc})	3,09 A
Max. System Voltage	1000 VDC

4.2 Pengujian sel surya saat cerah

Pengujian simulasi sel surya saat cuaca cerah bertujuan untuk mengetahui nilai suhu, arus dan tegangan yang dihasilkan oleh sel surya *polycrystalline* 50 Wp tanpa menggunakan simulasi *water cooler* dan menggunakan simulasi *water cooler* dengan pengambilan data dimulai pada pukul 11.30-15.30 WITA.

Dilihat dari Tabel 3 dan 4 di atas rata-rata tegangan, arus dan daya rangkaian terbuka yang dihasilkan oleh sel surya *polycrystalline* 50 Wp saat sebelum menggunakan *water cooler* secara berurutan adalah 21,04 V, 1,68 A dan 35,52 W, kemudian setelah menggunakan *water cooler* rata-rata dari tegangan, arus, daya rangkaian terbuka secara berurutan adalah sebesar 22,02 V, 2,4 A, 53,89 W sehingga terjadi kenaikan rata-rata tegangan, arus dan daya secara berurutan sebesar 1,02 V, 0,72 A dan 18,37 W.

Tabel 3. Hasil pengujian/pengukuran simulasi sel surya tanpa pendingin saat cerah.

Waktu	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
11,30	47	21,5	2,46	52,89
12,30	48	21,3	1,93	41,11
13,30	50	21	1,79	37,59
14,30	54	20,9	1,21	25,29
15,30	54	20,5	1,01	20,71
Rata-rata		21,04	1,68	35,52

Tabel 4. Hasil pengujian/pengukuran simulasi sel surya dengan pendingin saat cerah.

Waktu	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
11,30	31	22,1	3,07	67,85
12,30	31	22,1	2,79	61,66
13,30	31	22	2,58	56,76
14,30	31	21,9	1,93	42,27
15,30	31	22	1,86	40,92
Rata-rata		22,02	2,4	53,89

4.3 Pengujian sel surya saat berawan

Dilihat dari Tabel 5 dan 6 rata-rata tegangan, arus dan daya dari rangkaian terbuka yang dihasilkan oleh sel surya *polycrystalline* 50 Wp saat sebelum menggunakan *water cooler* secara berurutan adalah 20,5 V, 0,4 A dan 7,77 W, kemudian setelah menggunakan *water cooler* rata-rata tegangan, arus dan daya pada rangkaian terbuka yang dihasilkan sel surya secara berurutan adalah 21,42 V, 1,1 A dan 24,03 W, dimana terjadi kenaikan tegangan, arus dan daya secara berurutan sebesar 0,92 V, 0,7 A dan 16,26 W. Dari rata-rata tegangan rangkaian terbuka yang dihasilkan sel surya saat sebelum menggunakan *water cooler* semakin tinggi suhu yang ada pada permukaan sel surya *polycrystalline* 50 Wp semakin turun tegangan rangkaian terbuka yang dihasilkan dan juga dikarenakan cuaca yang berawan intensitas radiasi cahaya matahari yang diterima sel surya terhalang sehingga tegangan yang dihasilkan menurun, namun setelah menggunakan *water cooler* penurunan tegangan rangkaian terbuka tidak terlalu jauh, dikarenakan

saat mendapat intensitas radiasi yang tinggi pendingin akan mempertahankan suhu pada 31°C sehingga sel surya mampu menghasilkan tegangan yang optimal.

Tabel 5. Hasil pengujian/pengukuran simulasi sel surya tanpa pendingin saat berawan.

Waktu	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
11,30	41	20,1	0,58	11,66
12,30	54	21	0,52	10,92
13,30	44	21,2	0,33	7,00
14,30	45	20,5	0,29	5,95
15,30	44	19,7	0,17	3,35
Rata-rata		20,5	0,4	7,77

Tabel 6. Hasil pengujian/pengukuran simulasi sel surya dengan pendingin saat berawan.

Waktu	Suhu (°C)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
11,30	31	21,9	1,86	40,73
12,30	31	21,9	1,37	30,00
13,30	31	21,5	1,22	26,23
14,30	31	20,9	0,58	12,12
15,30	31	20,9	0,53	11,08
Rata-rata		21,42	1,1	24,03

5. Kesimpulan

Dari hasil analisis yang didapat pada saat sebelum menggunakan *water cooler* rata-rata tegangan rangkaian terbuka yang dihasilkan sebesar 21,04 V, lalu rata-rata arus hubung singkat sebesar 1,68 A dan rata-rata daya yang dihasilkan sebesar 35,52 W pada saat cuaca cerah, saat cuaca berawan rata-rata tegangan rangkaian terbuka yang dihasilkan sebesar 20,5 V, lalu rata-rata arus hubung singkat yang dihasilkan sebesar 0,40 A dan rata-rata daya yang dihasilkan sebesar 7,77 W. Besar suhu pada permukaan sel surya saat tanpa menggunakan *water cooler* tertinggi mencapai 54°C dan suhu terendah sebesar 44 °C, kemudian dari hasil analisis yang didapat pada saat setelah menggunakan *water cooler* menghasilkan rata-rata tegangan rangkaian terbuka sebesar 22,02 V, lalu rata-rata arus hubung singkat sebesar 2,40 A dan rata-rata daya yang dihasilkan sebesar 53,89 W pada saat cuaca cerah, saat cuaca berawan rata-rata tegangan rangkaian terbuka yang dihasilkan sebesar 21,42 V, lalu rata-rata arus hubung singkat yang dihasilkan sebesar 1,10 A dan rata-rata daya yang dihasilkan sebesar 24,03 W. Suhu tertinggi pada permukaan sel surya sebesar 54°C dan suhu terendah pada permukaan sel surya sebesar 44°C, dengan penyiraman menggunakan *water cooler* selama 15 menit mampu menurunkan suhu hingga 10°C sehingga untuk menurunkan suhu sampai 31°C membutuhkan waktu 30 menit.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh staf di Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bali yang telah memberikan bantuan pascatugas dalam penelitian ini, serta staf dosen Program Study DIV Teknik Otomasi, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bali

Pustaka

- [1] J. Jiang, T. Huang, Y. Hsiao, and C. Chen, Maximum Power Tracking for Photovoltaic Power Systems, *Tamkang J. Sci. Eng.*, vol. 8, no. 2, 2005, pp. 147-153.
- [2] Suryana, Deny, Pengaruh temperatur/suhu terhadap tegangan yang dihasilkan panel surya jenis monokristalin (studi kasus: Baristand Industri Surabaya), *Jurnal Teknologi Proses dan Inovasi Industri*, vol. 1, no.2, 2016.
- [3] Gumilar, A., *Sistem air pendingin*. Jakarta, STE, 2001.
- [4] Putra, Mursalim Pratama, Sistem Pendingin Menggunakan Air Dengan Kendali Otomatis Untuk Menurunkan Rugi-Rugi Daya Pada Panel Surya Berbasis Arduino, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan.

- [5] Chaniotakis E., Modelling and analysis of water cooled photovoltaics, *M.Sc. thesis*, Faculty of Energi System and Environment, Departement of Mechanical Engineering, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, 2001.
- [6] Loegimin, Maruto Swatara, et al., Sistem Pendingin Air untuk Panel Surya dengan Metode Fuzzy Logic, *Jurnal Integrasi* vol. 12, no. 1, 2020, pp. 21-30.
- [7] M.A. Green, K. Emery, Y. Hishikawa, W. Warta, E. D. Dunlop, *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, vol. 21, 2013, pp. 827-837, <https://onlinelibrary.wiley.com/>., Accessed 4 Agustus 2020.
- [8] Lawrence L. Kazmerski, Solar photovoltaics R&D at the tripping point: A 2005 Technology overvie. *Jurnal Electron Spectroscopy and Related Phenomena*, 150, 2006, pp. 105-135, *National Center For Photovoltaics, National Renewable Energi Laboratory, USA*.
- [9] Sumber Energi Terbarukan di Indonesia, <https://badungkab.go.id/instansi/dislhk/baca-artikel/269/8-sumber-energi-terbarukan-di-indonesia/>
- [10] Jumadril, J. N., Djoko Anwar, and Zulfianto Zulfianto, Rancang Bangun Pompa Air Aquarium menggunakan Solar Cell, *Zona Teknik*, vol. 11, no. 2, Fakultas Teknik, Universitas Batam.
- [11] Sapteka, Anak Agung Ngurah Gde, et al., Modelling of Monthly Clear Sky Solar Irradiation on Horizontal Surface in Denpasar City, *2019 International Conference on Electrical, Electronics and Information Engineering (ICEEIE)*, vol. 6, IEEE, 2019.