

## BAB II

### KONSEP DESAIN & SPESIFIKASI SISTEM

#### 2.1 Definisi, Fungsi dan Spesifikasi

Sumber cahaya buatan terkendali untuk pengujian panel surya merupakan salah satu sistem pendukung dalam simulator untuk pengujian karakteristik panel surya yang dilakukan dalam ruangan dengan tujuan untuk pengkondisian dan kontrol terhadap beberapa parameter seperti suhu dan *irradiance* yang dapat memengaruhi penggambaran karakteristik V-I sebagai output dari panel surya. Sumber cahaya buatan berperan sebagai pengganti cahaya surya alami yang digunakan dalam simulator.

Pada produk yang dikembangkan memiliki fungsi untuk menghasilkan cahaya dengan spesifikasi yang sesuai dengan standar organisasi sehingga pengujian panel surya dapat dilakukan di dalam ruangan dengan menggunakan simulator. Tingkat *irradiance* yang dihasilkan produk dapat disesuaikan dengan kemampuan pemantauan suhu untuk modul lampu.

Cara kerja dari produk ini adalah lampu dihubungkan dengan modul *driver* sebagai pengatur cahaya agar sesuai dengan kebutuhan pengguna dengan penggunaan PWM yang dihasilkan oleh kontroler. Pengguna memasukkan data seperti waktu dan tanggal pada modul integrator yang menjembatani antara sistem simulator dengan pengguna. Modul integrator bekerja sama dengan modul *tracker* untuk pergerakan aktuator, dan modul sumber cahaya buatan. Komponen yang digunakan untuk produk sumber cahaya buatan terkendali untuk pengujian panel surya antara lain beberapa modul lampu jenis LED, driver LED dengan PWM, kontroler dan *interface*, sensor suhu, sensor tegangan dan arus, dan sel surya. Produk ini dapat dimanfaatkan oleh lembaga dan organisasi yang membutuhkan simulator untuk pengujian panel surya dimana didalamnya terdapat produk sumber cahaya buatan.

Spesifikasi secara umum adalah produk mampu menghasilkan nilai *irradiance* sebesar  $1.000 \text{ W/m}^2$  yang di dapat dari nilai spektrum cahaya sebesar AM 1,5 G sesuai dengan standar Eropa (IEC).

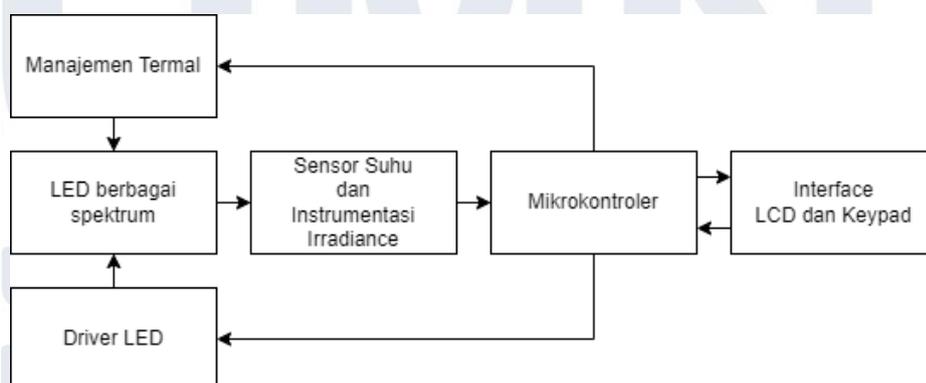
Spesifikasi produk secara khusus dipengaruhi oleh kondisi yang diinginkan pengguna dalam melakukan pengujian dalam simulator dalam ruangan. Tingkat *irradiance* yang dihasilkan produk dapat dikendalikan dan diatur oleh pengguna dengan fitur kendali intensitas dari LED dengan pengaturan PWM pada driver LED. Secara ideal standar kondisi pengujian dengan suhu  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  dan *irradiance*  $1.000 \text{ W/m}^2$ .

Hal yang perlu dipertimbangkan adalah suhu panas yang dihasilkan oleh modul LED sehingga perlu dilakukan pemantauan parameter suhu. Pemantauan parameter suhu ditunjukkan agar modul LED sebagai sumber cahaya adalah ketahanan modul LED itu sendiri yang berhubungan dengan kinerja serta jam kerja LED. Pertimbangan lain seperti efek yang dapat ditimbulkan oleh LED pada panel surya yang akan dilakukan pengujian berupa radiasi kalor yang dihasilkan oleh modul LED. Dengan ini, dibutuhkan subsistem manajemen termal untuk melakukan pemantauan dan umpan balik bagi sistem untuk menjaga suhu operasi dari LED. Untuk mengimbangi panas dari modul LED, produk menggunakan *heatsink* untuk disipasi panas dan kipas pendingin untuk sirkulasi udara.

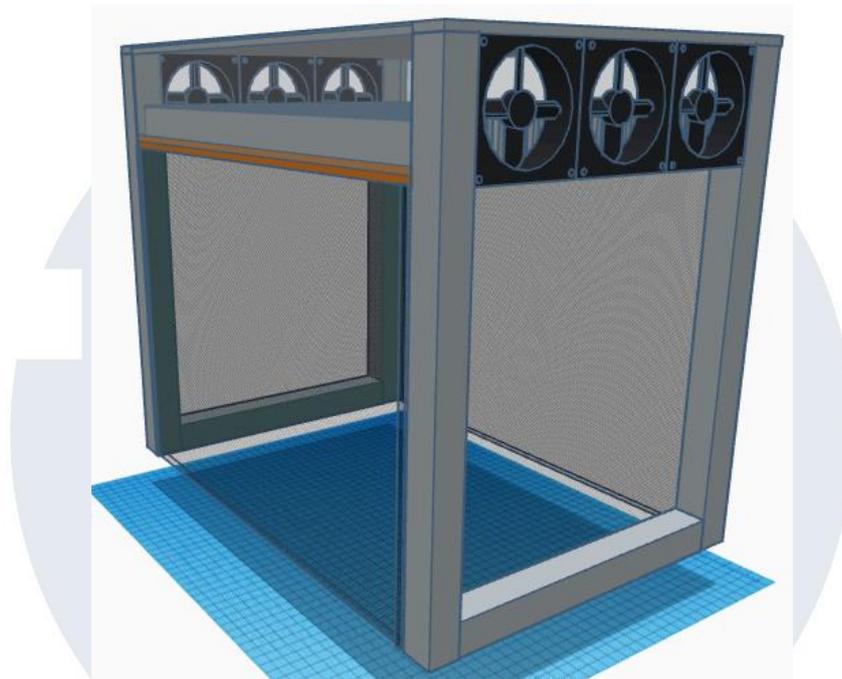
Keterbatasan dalam menggunakan instrumentasi ideal (*Pyranometer*) untuk pengukuran nilai *irradiance* dihadapi dengan solusi penggunaan sensor *hall-effect*. Sensor ini terhubung dengan mikrokontroler untuk melakukan pembacaan nilai arus yang dihasilkan oleh sel surya (sebagai instrumentasi) pada subsistem *pyranometer* sebagai *feedback*. Dengan batasan pengembangan produk lain yaitu tidak dapat dilakukannya penggambaran grafik spektrum cahaya secara keseluruhan yang dihasilkan oleh produk karena keterbatasan alat dan pengembangan instrumentasi alternatif. Secara garis besar spektrum cahaya ditunjukkan oleh data dan peninjauan teoritis oleh peneliti untuk masing-masing panjang gelombang cahaya yang digunakan LED pada produk.

## 2.2 Desain Produk

Bagian ini membahas desain produk secara teknis dan menyeluruh, berupa gambar dan diagram blok untuk menunjukkan sistematika pengoperasian sistem. Desain sistem produk secara keseluruhan berdasarkan pada solusi aplikatif dan spesifikasi khusus produk yang sudah direncanakan dan tidak berdasarkan solusi ideal dan spesifikasi umum.



Gambar 2.1 - Diagram Blok Sumber Cahaya Buatan Terkendali untuk Pengujian Panel Surya



Gambar 2.2 - Rancangan Produk Sumber Cahaya Buatan Terkendali untuk Pengujian Panel Surya

### 2.2.1 Interaksi Pengguna dan Sistem

Bagian ini menjelaskan bagaimana cara pengguna berinteraksi dengan produk agar sistem dapat bekerja dengan semestinya. Sebagai catatan, produk sumber cahaya buatan terkendali untuk pengujian panel surya dapat disempurnakan dengan penambahan dan integrasi dari subsistem pada proyek pengembangan produk lain seperti *tracker*, dan integrator. Produk sumber cahaya beroperasi dan terintegrasi dengan subsistem lain agar keseluruhan sistem simulator dapat bekerja. interaksi yang perlu dilakukan adalah :

1. Konfigurasi awal sistem

Untuk konfigurasi awal, perangkat sumber cahaya berupa modul-modul LED yang sudah terangkai dipasang pada kerangka simulator sehingga sumber cahaya berada di atas panel pengujian yang sudah dipasang pada subsistem *tracker*. Kemudian perkabelan untuk menghubungkan LED dengan *driver* dipasang sehingga LED mendapatkan sumber tegangan dan pengaturan parameter yang sesuai dengan penggunaan PWM dari kontroler. Sementara untuk sensor/instrumentasi dipasang pada bagian panel pengujian dimana terletak panel surya yang akan dilakukan pengujian karakteristik. Sensor ini terhubung sebagai *feedback* sistem.

## 2. Konfigurasi pengoperasian sistem

Setelah produk sumber cahaya buatan terkendali selesai dirakit, selanjutnya pengguna dapat memasukkan preset tingkat *irradiance* yang sesuai dengan keinginan pengguna. Kendali dari tingkat *irradiance* dilakukan dengan memilih pilihan yang tertera pada LCD dan pengaturan dengan menggunakan tombol.

### 2.2.2 Spesifikasi Sistem Berdasarkan Kemampuan dan Fungsionalitas

Bagian ini menjelaskan lebih detail mengenai spesifikasi yang terdapat di dalam sistem. Penjelasan dalam bagian ini dibagi menjadi parameter apa saja dalam spesifikasi yang ingin dicapai dalam pengembangan produk ini. Parameter yang dapat dimasukkan antara lain :

#### 1. Akurasi

Produk diharapkan memenuhi spesifikasi minimum untuk sumber cahaya buatan untuk simulator panel surya dengan parameter *irradiance* minimum sebesar  $1.000 \text{ W/m}^2$ . Produk harus mencapai tingkat akurasi untuk *irradiance* yang dihasilkan sebesar  $\geq 95\%$ . Sementara untuk keakuratan subsistem manajemen termal, *driver* LED, dan instrumentasi *irradiance* diharapkan mencapai tingkat akurasi minimum sebesar 85% dengan banyak pertimbangan lain seperti kinerja mikrokontroler, sensor dan komponen elektronik lainnya.

#### 2. Presisi

Harapan dari tingkat presisi yang ingin dicapai oleh produk sumber cahaya buatan untuk pengujian panel surya adalah kinerja produk yang stabil dan menghasilkan tingkat *irradiance* yang konsisten. Tingkat presisi dari produk diharapkan mencapai 85% dengan pertimbangan dalam subsistem sumber cahaya buatan berupa modul LED seperti performa dan kinerja dari LED ketika beroperasi dan kendali tingkat *irradiance* LED oleh *driver* dengan pengaturan PWM.

#### 3. Dimensi Produk

Dimensi produk secara keseluruhan yang terdiri dari bagian kotak cermin, modul LED, dan pendinginan memiliki panjang 55 cm, lebar 45 cm, dan tinggi 35 cm. Dimensi lain yang diperlukan antara lain adalah ukuran tinggi kaki yang menyesuaikan untuk pemasangan produk sumber cahaya buatan pada sistem simulator.

#### 4. Konsumsi Daya

Konsumsi daya yang digunakan oleh produk antara lain digunakan untuk daya modul LED, kipas, dan mikrokontroler beserta sensor/instrumentasi. Dengan asumsi modul LED dinyalakan dengan daya maksimum adalah sebesar 750 Watt. LED yang digunakan memiliki *rating* daya maksimum

50 Watt dan produk menggunakan sebanyak 15 modul LED sehingga penjumlahan total daya LED adalah  $50 \text{ Watt} \times 15 = 750 \text{ Watt}$ . Daya yang dibutuhkan untuk kipas adalah sebesar 26 Watt dengan rincian penggunaan kipas sebanyak 6 buah dan masing-masing kipas membutuhkan daya kurang dari 4,5 Watt. Sementara sistem untuk mikrokontroler menggunakan daya tidak lebih dari 12 Watt. Sehingga total konsumsi daya maksimum produk sebesar 788 Watt.

5. *Ease-of-Use*/Kemudahan Penggunaan

Produk pada sistem simulator untuk pengujian panel surya berupa sumber cahaya buatan terkendali memungkinkan pengguna untuk dapat mengoperasikan simulator sesuai dengan tingkat *irradiance* yang dibutuhkan. Pengguna dapat melakukan pemantauan dan kontrol terhadap parameter dari produk sumber cahaya buatan terkendali melalui *interface* pada LCD.

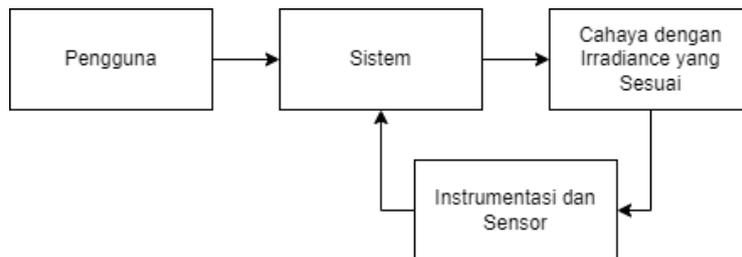
6. Kekuatan/Kestabilan Sistem

Keseluruhan sistem pada produk sumber cahaya buatan terkendali menggunakan bahan pembentuk rangka yang kokoh sehingga produk dapat terpasang pada sistem simulator dengan baik. Kemudian perlu dilakukan perangkaian kabel dan penggunaan konektor yang benar dan tepat sehingga produk dapat bekerja dengan baik. Secara keseluruhan peneliti perlu mempertimbangkan gerak dari sistem *tracker* panel surya pada simulator untuk kekuatan/kestabilan sistem.

7. Kompatibilitas Dengan Subsistem Tambahan

Pengembangan produk di rancang untuk berkemampuan dalam kompatibilitas dan fleksibilitas sehingga produk sumber cahaya buatan terkendali ini dapat dilakukan pengembangan sesuai dengan keinginan. Produk mampu bekerja dengan subsistem lainnya baik subsistem dasar untuk simulator hingga subsistem yang bersifat opsional dalam pengembangan fitur.

Kemudian spesifikasi produk harus dianalisis berdasarkan fungsionalitas sistem, menggunakan *Data Flow Diagram* dengan level yang cukup tinggi mulai dari level 0 untuk sistem keseluruhan hingga ke level 1 atau 2 untuk masing-masing subsistem.

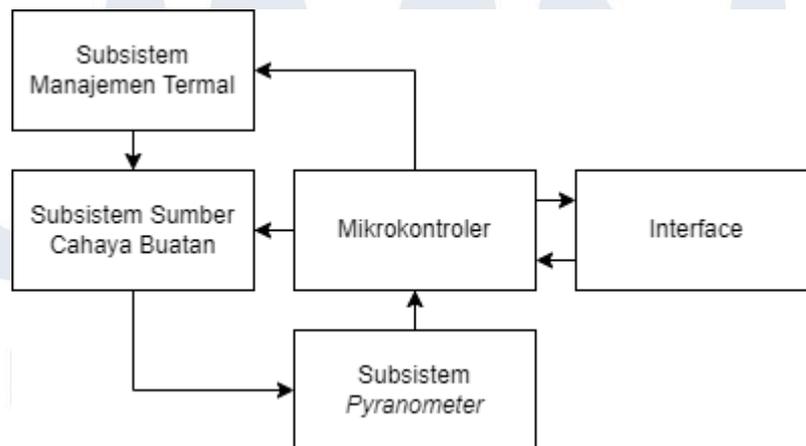


Gambar 2.3 - DFD Level 0 Sistem Sumber Cahaya Buatan Terkendali

Tabel 2.1 - Penjelasan DFD Level 0 Sistem Sumber Cahaya Buatan Terkendali

Parameter	Keterangan
<b>Input</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Konfigurasi sistem dari pengguna</li> </ul>
<b>Output</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pengaturan tingkat <i>irradiance</i> yang dihasilkan modul LED</li> </ul>
<b>Fungsi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menampilkan kurva karakteristik I-V</li> <li>Melakukan akuisisi data sensor dan instrumentasi</li> <li>Pengaturan parameter pengujian simulator seperti <i>irradiance</i></li> </ul>

Untuk DFD Level 1, fokus pada 1 bagian dari sistem keseluruhan, dalam hal ini adalah bagian Mikrokontroler. Diagram blok Level 1 adalah representasi lebih detail dari diagram blok Level 0, maka dari itu bagian eksternal sistem tidak ditampilkan.



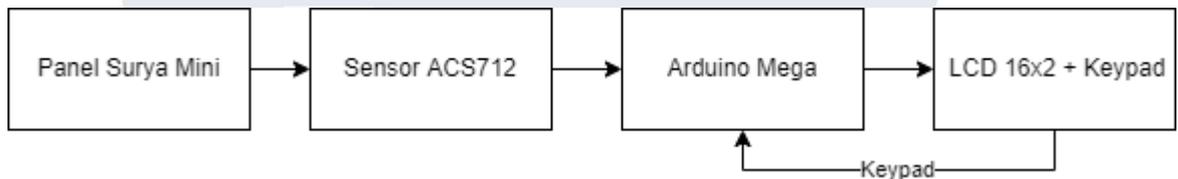
Gambar 2.4 - DFD Level 1 Sistem Sumber Cahaya Buatan

Tabel 2.2 - Penjelasan DFD Level 1 Sistem Sumber Cahaya Buatan Terkendali

Parameter	Keterangan
<b>Input</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Instrumentasi dan sensor</li> <li>• Tingkat irradiance dari pengguna</li> </ul>
<b>Output</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mengaktifkan kipas pendingin untuk sirkulasi</li> <li>• Menghasilkan PWM yang sesuai dengan kebutuhan <i>irradiance</i></li> </ul>
<b>Fungsi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sebagai umpan balik sistem</li> </ul>

DFD Level 2 menjelaskan masing-masing subsistem yang ada di DFD Level 1.

Berikut merupakan DFD level 2 untuk subsistem instrumentasi *Pyranometer*.



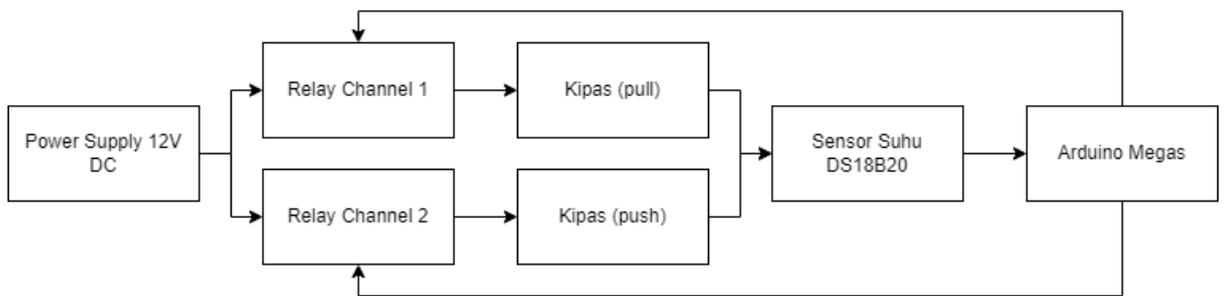
Gambar 2.5 - DFD level 2 subsistem Pyranometer

Tabel 2.3 - Penjelasan DFD Level 2 Subsistem *Pyranometer*

Parameter	Keterangan
<b>Input</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Arus pendek (<math>I_{sc}</math>) yang dihasilkan oleh panel surya mini</li> </ul>
<b>Output</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LCD untuk menampilkan tingkat <i>irradiance</i></li> </ul>
<b>Fungsi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melakukan pengukuran arus pendek untuk mengetahui tingkat <i>irradiance</i></li> <li>• Melakukan pengukuran arus dari sensor ACS712</li> <li>• Operator dapat mengetahui parameter <i>irradiance</i> dari LCD</li> </ul>

Berikut merupakan DFD level 2 dari subsistem manajemen termal.

UNIVERSITAS  
MULTIMEDIA  
NUSANTARA

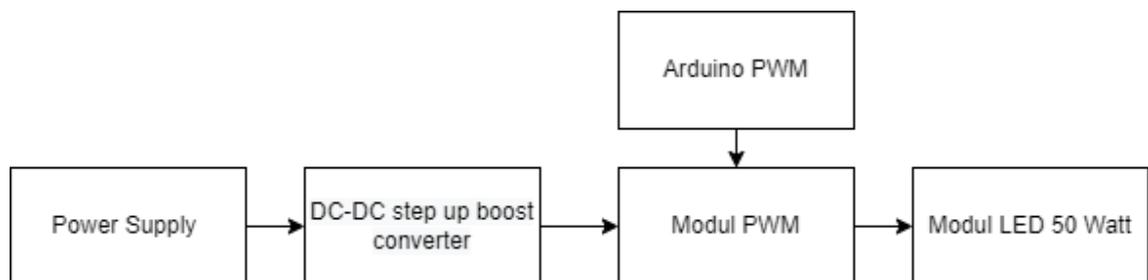


Gambar 2.6 - DFD level 2 subsistem manajemen termal

Tabel 2.4 - Penjelasan DFD level 2 subsistem manajemen termal

Parameter	Keterangan
<b>Input</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tegangan suplai</li> <li>Pengukuran parameter suhu oleh sensor DS18B20</li> </ul>
<b>Output</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mengaktifkan kipas untuk disipasi panas</li> </ul>
<b>Fungsi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Melakukan pengukuran tegangan dan arus untuk mengetahui tingkat <i>irradiance</i></li> <li>Melakukan pengukuran nilai suhu dari sensor sebagai fungsi umpan balik subsistem</li> </ul>

Berikut merupakan DFD level 2 untuk subsistem sumber cahaya buatan.



Gambar 2.7 - DFD level 2 subsistem sumber cahaya buatan

Tabel 2.5 - Penjelasan DFD level 2 subsistem sumber cahaya buatan

Parameter	Keterangan
<b>Input</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tegangan suplai dan PWM</li> </ul>
<b>Output</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>LED menyala sesuai <i>Duty Cycle</i></li> </ul>
<b>Fungsi</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Menghidupkan LED sesuai dengan kebutuhan</li> </ul>

### 2.2.3 Spesifikasi Sistem Berdasarkan Standarisasi

Bagian ini menjelaskan mengenai standarisasi industri yang harus diikuti oleh produk.

6. SNI IEC 60904-9:2020, mengenai standar klasifikasi karakteristik simulator surya.
7. IEC 60904-9:2020, mengenai klasifikasi karakteristik simulator surya.
8. AWG, mengenai standar untuk ukuran diameter konduktor listrik.
9. SNI 15-4756-1998, mengenai kaca cermin lembaran berlapis (untuk penggunaan umum).
10. SNI IEC 60998-1:2011, mengenai konektor untuk sirkuit tegangan rendah.
11. SNI IEC 60196:2015, mengenai frekuensi standar.
12. SNI 04-0227-1994, mengenai tegangan standar.
13. SNI 04-3850.1&2-1995, mengenai modul PV secara umum dan terhadap pengukuran karakteristik arus tegangan sel/modul PV.
14. SNI 04-6267.303-2002, mengenai instrumen ukur elektronik.

### 2.2.4 Spesifikasi Sistem Berdasarkan Keandalan dan Perawatan

Dalam pengembangan produk sumber cahaya buatan terkendali untuk pengujian panel surya memiliki tujuan dan target kinerja sistem sebagai bentuk integrasi terhadap iuran proyek simulator untuk pengujian panel surya sebagai sumber cahaya buatan yang harus terpenuhi untuk memenuhi kebutuhan sistem. Dilakukan analisis terhadap kinerja produk dengan menggunakan *mean time before failure* (MTBF) dengan *lifetime* untuk rata-rata modul LED adalah 50.000 jam dan analisis *mean time to repair* (MTTR) dengan target waktu perbaikan maksimum adalah 30 hari, mempertimbangkan ketersediaan tenaga ahli dan suku cadang. Untuk menjamin umur dari produk sumber cahaya buatan, perangkat perlu disimpan pada kondisi dalam ruangan meliputi suhu dan kelembapan ruangan dan jauh dari benda cair.

### 2.2.5 Spesifikasi Sistem Berdasarkan *Constraint*/Hambatan

Bagian ini membahas mengenai *constraint* yang menjadi hambatan spesifikasi sistem :

- Bobot sistem maksimum adalah 10 kg.
- Biaya material sistem tidak lebih dari 6 juta.
- Tidak melakukan pengaturan terhadap pergerakan sumber cahaya.
- Penggambaran grafik spektrum cahaya yang dihasilkan produk.
- Integrasi dan kontrol sistem dengan aplikasi secara nirkabel.

## 2.3 Verifikasi Spesifikasi Produk

Bagian ini akan membahas subsistem/modul apa saja yang akan dipakai dalam sistem, dan metode verifikasi.

### 2.3.1 Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian produk yang dilakukan mencakup hal-hal berikut :

1. Komponen sensor seperti *hall-effect* dan suhu yang digunakan pada sistem akan dilakukan pengujian dalam melakukan pengukuran nilai parameter yang sesuai dengan menggunakan mikrokontroler. Setiap pengujian dilakukan secara terpisah untuk masing-masing parameter yang diuji. Jika sensor mengeluarkan nilai, selanjutnya dilakukan perbandingan dengan nilai pada instrumentasi seperti multimeter untuk tegangan dan arus serta termometer untuk suhu.
2. Subsistem *pyranometer* untuk menentukan nilai *irradiance* dapat dilakukan peninjauan ulang apakah hasil dari sensor yang digunakan berupa penggunaan solar panel mini yang terhubung dengan *hall-effect* sesuai dengan nilai *irradiance* dengan menggunakan metode pengukuran lain sebagai perbandingan. Dapat dilakukan pengukuran nilai *irradiance* dengan menggunakan solar meter sebagai bentuk verifikasi instrumentasi.
3. Setelah memastikan kesesuaian kinerja sensor dengan data parameter yang dibutuhkan, selanjutnya kedua sensor dapat dihubungkan dengan mikrokontroler utama dimana sudah dipastikan komunikasi antara sensor dengan mikrokontroler bekerja dengan baik.
4. Sementara untuk melakukan pengujian terhadap modul LED, peneliti menggunakan *power supply DC* dengan tegangan 12V dan 24V yang kemudian menuju modul *step up* sebagai *driver LED* yang terhubung dengan mosfet sehingga kontrol tegangan dapat dilakukan dengan cara melakukan pengaturan PWM oleh mikrokontroler. Pengaturan PWM dapat merubah kondisi *Duty Cycle* sehingga kontrol terhadap intensitas LED dapat dilakukan.

### 2.3.2 Analisis Toleransi

Proses kinerja produk dapat dipengaruhi oleh modul LED yang mengalami panas berlebih sehingga kinerja dan jam operasi dapat menurun secara signifikan. Untuk itu produk ini dilengkapi dengan fitur pemantauan suhu dan *heatsink* beserta kipas pendingin untuk sirkulasi dan pembuangan udara panas dari modul LED. Selain itu, pergerakan *tracker* pada simulator juga perlu dipertimbangkan agar pergerakan tidak memberikan dampak pada perkabelan yang digunakan untuk modul LED dan sensor. Spesifikasi kabel yang digunakan menyesuaikan dengan kebutuhan daya dan arus yang mengalir pada kabel. Perkabelan dilakukan dengan rapi dan terlindungi serta memastikan penggunaan konektor yang teruji sehingga koneksi kabel dapat terjaga.

### **2.3.3 Pelaksanaan Pengujian**

Skenario pengujian produk dilakukan di dalam ruangan sesuai dengan penerapan simulator untuk pengujian panel surya. Kondisi tes standar antara lain adalah pada suhu ruangan 25 °C dan nilai *irradiance* yang stabil sesuai dengan kebutuhan dan input pengguna.

Kondisi ruangan yang tidak terlalu berdebu diharapkan agar tidak mengganggu kinerja produk sumber cahaya buatan dalam menghasilkan cahaya yang dibutuhkan dalam simulator untuk pengujian panel surya. Kondisi suhu yang stabil merupakan salah satu parameter dalam melakukan pengujian sehingga hasil dari pengujian menunjukkan kesesuaian dan tidak berubah ubah.

Pelaksanaan pengujian ini bertujuan untuk melihat apakah modul LED sebagai sumber cahaya buatan terkendali dapat menghasilkan nilai *irradiance* yang sesuai dengan standar dan kebutuhan pengguna dalam melakukan pengujian panel surya. Simulator panel surya menggunakan cahaya buatan sebagai pengganti cahaya alami matahari yang dilakukan di dalam ruangan dimana tidak ada cahaya matahari alami yang cukup untuk melakukan penggambaran karakteristik panel surya. Sehingga dibutuhkan produk sumber cahaya buatan terkendali pada simulator panel surya di dalam ruangan.

## **2.4 Biaya dan Jadwal**

Bagian ini akan secara khusus membahas mengenai biaya dan jadwal pengerjaan produk. Dari rencana awal yang sudah ditetapkan pada BAB I, biaya dan jadwal di BAB II diharapkan sudah lebih spesifik terutama ke biaya dasar pengembangan produk.

### **2.4.1 Kebutuhan Biaya**

Kebutuhan biaya yang dimasukkan adalah biaya dasar pengembangan produk seperti harga bahan mentah, harga komponen, biaya pengujian dan lainnya. Biaya SDM dapat dimasukkan jika sudah dilakukan analisisnya.

Tabel 2.6 - Analisis Kebutuhan Biaya

No.	Deskripsi	Jumlah	Harga Satuan	Total
1	Mikrokontroler	1	Rp 230.000	Rp 230.000
2	Sensor suhu	2	Rp 25.000	Rp 50.000
3	Sensor Hall-effect	1	Rp 20.000	Rp 20.000
4	Solar cell	1	Rp 30.000	Rp 30.000
5	16X2 LCD Display	1	Rp 40.000	Rp 40.000
6	Kabel dan konektor	1 set	Rp 200.000	Rp 200.000
7	Rangka Struktur	1 set	Rp 400.000	Rp 400.000
9	Heatsink	2	Rp 160.000	Rp 320.000
10	Kipas pendingin	6	Rp 40.000	Rp 240.000
11	High Power LED 50 watt	15	Rp 270.000	Rp 4.050.000
12	Power Supply 24V DC	1	Rp 200.000	Rp 200.000
13	Power Supply 12V DC	2	Rp 100.000	Rp 200.000
14	Buck Converter DC-DC	6	Rp 25.000	Rp 150.000
Grand Total				Rp 6.130.000

#### 2.4.2 Jadwal dan Waktu Pengembangan

Jadwal dan waktu pengembangan dalam digambarkan menggunakan bentuk *Gantt Chart* dan Tabel *Milestones & Deliverables*.

Tabel 2.7 - *Gantt Chart* Jadwal Pengembangan Produk

No.	Deskripsi	Minggu ke (Januari - Juni 2023)																							
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	Studi Pustaka	■	■	■	■	■	■	■																	
2	Perumusan Masalah	■	■	■	■	■	■	■																	
3	Analisis Strategis	■	■	■	■	■	■	■																	
4	Dokumen Proposal	■	■	■	■	■	■	■																	
5	Dokumen Spesifikasi	■	■	■	■	■	■	■																	
6	Analisis Desain	■	■	■	■	■	■	■																	
7	3D Mockup	■	■	■	■	■	■	■																	
8	Dokumen Perancangan	■	■	■	■	■	■	■	■																
9	Uji Subsystem				■	■	■	■	■	■															
10	Integrasi								■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
11	Uji Sistem									■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
12	Dokumen Laporan																			■	■	■	■	■	■