

Rancang Bangun Sistem Alat Fototerapi Untuk Bayi Hiperbilirubinemia Berbasis *Internet Of Things* (IoT)

*Annida Sakinah Ramadhani*¹; *Herminarto Nugroho*¹; *Aulia Rahma Annisa*¹

1. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Pertamina, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan, DKI Jakarta 12220, Indonesia

*Email: nidakina@gmail.com

Received: 4 September 2021 | Accepted: 5 Desember 2022 | Published: 5 Desember 2022

ABSTRACT

Based on the data made by World Health Organization (WHO) registered 60% of term baby should be re-treated because having a hyperbilirubinemia condition. To treat the hyperbilirubinemia condition, one thing that we can do is phototherapy treatment. Phototherapy devices based on IoT has irradiation at the distance of 50 cm between 586 - 844 μ W/cm². Phototherapy device based on Internet of Things (IoT) could reduce bilirubin levels in neonatal jaundice or babies with hyperbilirubinemia. Phototherapy device can be operated using the Blynk application that can be used on 2G, 3G, and 4G networks. There is a time difference between the operation of the phototherapy device and the stopwatch with the resulting error below 1%. The phototherapy device can also warn the user when the lamp is damaged, as well as when the lamp is used for more than 1500 hours. The Phototherapy device based on IoT is also equipped with a Wi-Fi ID and password that can be changed using the Nextion LCD attached to the device.

Keywords: Hyperbilirubinemia, Phototherapy device, Internet of Things (IoT), Blynk, and Nextion LCD

ABSTRAK

Berdasarkan data yang dibuat oleh World Health Organization (WHO) tercatat 60% bayi cukup bulan harus kembali dirawat dikarenakan mengalami kondisi hiperbilirubinemia. Untuk mengatasi kondisi hiperbilirubinemia salah satu cara yang dapat dilakukan adalah pengobatan fototerapi. Alat fototerapi berbasis IoT memiliki iradiasi pada jarak 50 cm berada diantara 586 - 844 μ W/cm². Alat fototerapi berbasis *Internet of Things* (IoT) dapat menurunkan kadar bilirubin pada *neonatal jaundice* atau bayi yang mengalami hiperbilirubinemia. Alat fototerapi dapat dioperasikan menggunakan aplikasi Blynk dengan menggunakan pada jaringan 2G, 3G, dan 4G. Pada alat fototerapi terdapat perbedaan waktu antara pengoperasian pada alat fototerapi dengan *stopwatch* dengan eror yang dihasilkan di bawah 1%. Alat fototerapi juga dapat memberikan notifikasi ketika ada lampu yang mengalami kerusakan serta notifikasi ketika penggunaan lampu di atas 1500 jam. Alat fototerapi berbasis IoT juga dilengkapi dengan Wi-Fi ID dan *password* yang dapat diubah dengan menggunakan LCD Nextion yang terpasang pada alat.

Kata kunci: Hiperbilirubinemia, Alat Fototerapi, Internet of Things (IoT), Blynk, dan LCD Nextion

1. PENDAHULUAN

Alat fototerapi merupakan suatu alat yang digunakan untuk mengobati kondisi hiperbilirubinemia yang ditandai dengan kondisi konsentrasi bilirubin yang tinggi dalam darah. Tercatat bahwa diperkirakan 60% bayi cukup bulan harus kembali dirawat dikarenakan mengalami kondisi hiperbilirubinemia [1]. Kondisi hiperbilirubinemia ditandai dengan perubahan kekuningan pada warna kulit, mata, serta selaput lendir. Kondisi ini biasa dialami oleh neonatus atau bayi baru lahir. Kadar bilirubin yang tinggi disebabkan karena kondisi hati yang belum matang untuk memproses bilirubin yang tinggi pada darah [2].

Bilirubin merupakan hasil produk dari pemecahan hemoglobin dalam darah yang akan tetap berada di dalam tubuh hingga hati dapat mengubah bentuk bilirubin menjadi produk yang dapat dikeluarkan [2]. Kondisi yang perlu diperhatikan pada bayi yang memiliki risiko apabila pada bayi muncul kondisi kekuningan pada hari pertama kelahiran, kondisi kekuningan di hari kedua pada bayi prematur dengan usia kelahiran dibawah 35 minggu, serta kondisi kekuningan pada bayi terletak pada telapak tangan dan telapak kaki [3]. Pada kondisi ini, untuk mengatasi hiperbilirubinemia dapat diobati dengan fototerapi. Rekomendasi untuk kadar bilirubin dalam darah pada bayi yang dapat diobati dengan fototerapi jika kondisi bayi dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 1. Kondisi Bayi dengan Kadar Bilirubin Tinggi dengan Pengobatan Fototerapi [3]

Usia	Bayi <i>Newborn</i> \geq Kehamilan 35 Minggu	Bayi <i>Newborn</i> $<$ Kehamilan 35 Minggu
1 Hari	Seluruh Tanda Kekuningan yang Terlihat	
2 Hari	260 mmol/L (15mg/dL)	170 mmol/L (10mg/dL)
3 Hari	310 mmol/L (18mg/dL)	250 mmol/L (15mg/dL)

Berdasarkan tabel di atas, apabila bayi memiliki indikasi seperti Tabel 1. perlu dilakukan pengobatan secepatnya dengan menggunakan alat fototerapi. Pada saat dilakukan pengobatan menggunakan alat fototerapi, kulit bayi harus terkena sinar *blue-green* dengan panjang gelombang antara 425-475 nm dengan cahaya yang didominasi warna biru dengan minimum iradiasi sebesar $4\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ [4, 5, 6, 7]. Untuk kalibrasi pada alat fototerapi, iradiasi minimal lampu sebesar $176\mu\text{W}/\text{cm}^2$ dengan jarak pengukuran sejauh 50 cm [8, 9]. Pada alat fototerapi, lampu yang digunakan berupa lampu *fluorescent* berwarna biru dengan daya total sebesar 100 W sebanyak 5 buah lampu 20 W [1, 10]. Penggunaan lampu *fluorescent* pada alat fototerapi disebabkan karena memiliki nilai iradiasi yang lebih tinggi dibandingkan lampu LED, semakin tinggi iradiasi maka semakin besar penurunan kadar bilirubin [11].

Berdasarkan artikel ilmiah yang ditulis oleh Royan, Kusnanto Mukti Wibowo, Gema Romadhona, dan Anang Widiyanto [9], alat fototerapi yang dibuat menggunakan IoT untuk mengirimkan pemberitahuan pada *smartphone* sehingga waktu efektif pemakaian lampu neon tabung dapat diinformasikan melalui pesan singkat. Selain itu, alat ini juga dilengkapi dengan *hourmeter* untuk memonitor jam pemakaian lampu neon.

Berdasarkan artikel ilmiah yang ditulis oleh Sasiskarini dan Triwiyanto [12], alat fototerapi yang dibuat dilengkapi dengan *hourmeter* lampu menggunakan mikrokontroler ATmega8535. Alat ini dapat dioperasikan dengan empat pilihan waktu yaitu 6 jam, 12 jam, 18 jam, dan 24 jam. Untuk keakuratan waktu digunakan *stopwatch* untuk membandingkan dengan empat pilihan waktu.

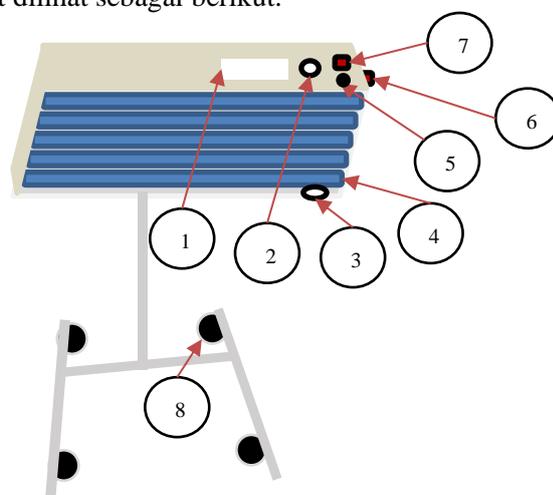
Berdasarkan artikel ilmiah yang ditulis oleh Edy Supriyadi dan Kasfika Nurman [13], dilakukan perancangan pembuatan alat fototerapi berbasis Arduino dengan menggunakan *Light-Emitting Diode* (LED) cahaya biru yang dioperasikan dengan mengatur durasi terapi untuk proses

treatment berlangsung melalui *smartphone*. Pada alat yang telah dirancang, lampu akan mati secara otomatis serta terdapat alarm untuk memberikan pemberitahuan ketika perawatan telah selesai.

1. PERANCANGAN PENELITIAN

1.1. Desain Perancangan

Pada perancangan alat fototerapi berbasis IoT, rancangan yang dilakukan menggunakan lampu *fluorescent* sebanyak 5 buah dengan daya masing-masing lampu sebesar 20 W. Lampu *fluorescent* lebih mudah untuk ditemukan secara bebas di beberapa aplikasi belanja *online* dibandingkan dengan lampu LED. Lampu tersebut harus memiliki iradiasi di atas $176\mu\text{W}/\text{cm}^2$ pada jarak 50 cm dengan panjang gelombang lampu berkisar antara 425-475 nm yang dapat menurunkan kadar bilirubin seperti pada alat fototerapi yang sudah ada. Selain itu, alat fototerapi dapat dipoperasikan menggunakan LCD Nextion atau menggunakan aplikasi Blynk dengan mengatur atau membatalkan durasi *treatment* dengan persentase error seperti penelitian yang sudah ada. Selain itu, alat dapat dioperasikan dengan koneksi jaringan pada alat 3G dan 4G, sedangkan pada *smartphone* yang menggunakan aplikasi Blynk dengan koneksi jaringan 2G, 3G, dan 4G. Alat fototerapi dapat memberitahukan ketika terdapat lampu yang mengalami kerusakan dengan kondisi mati serta memberikan notifikasi *pop-up* dan *e-mail* ketika waktu pakai lampu mencapai ≥ 1500 jam untuk mempersiapkan pergantian lampu. Untuk mengontrol seluruh proses yang berlangsung. Desain perancangan yang dibuat dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 1. Desain Alat Fototerapi Untuk Bayi Hiperbilirubinemia Tampak Depan

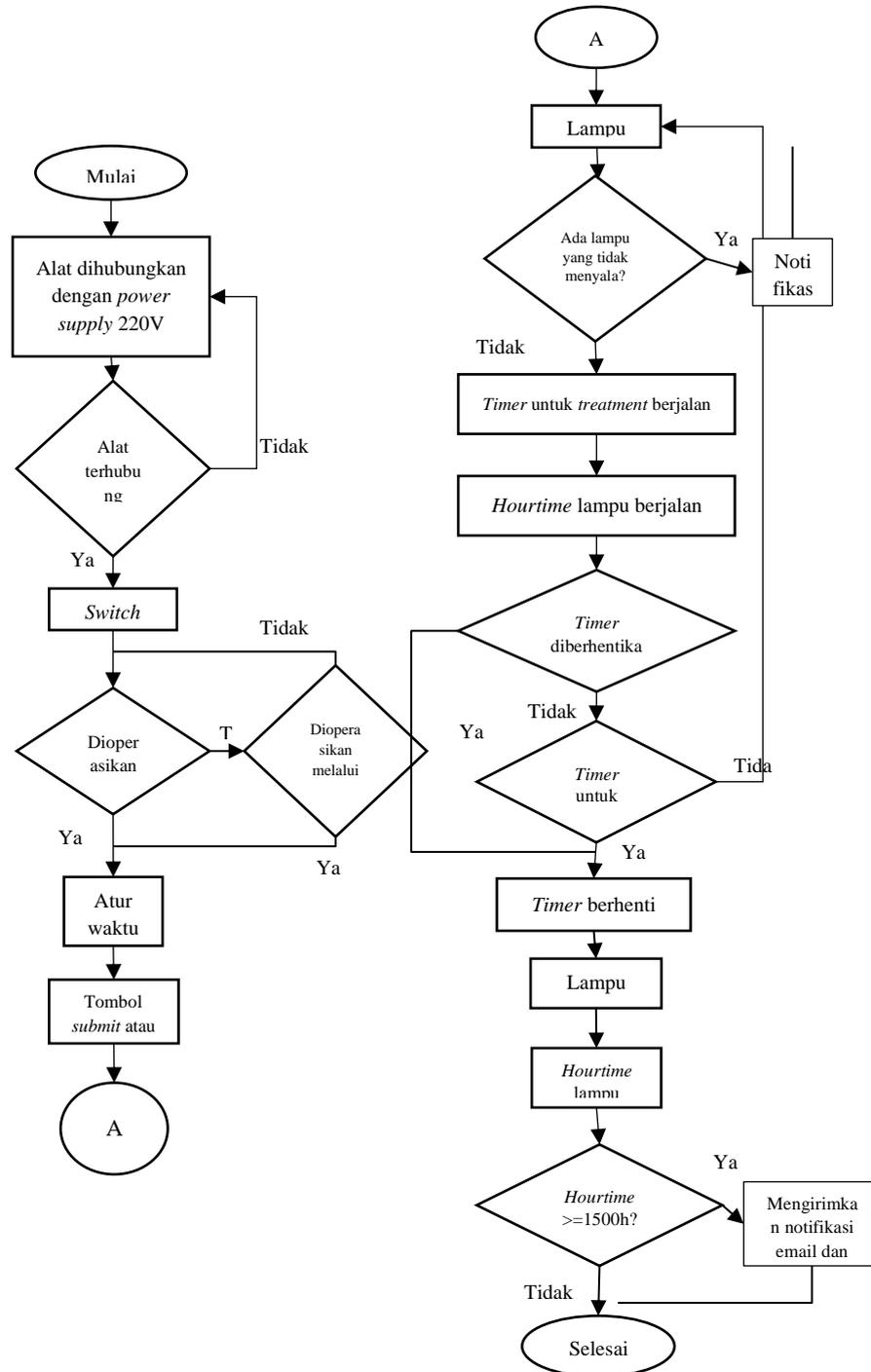
Keterangan:

- | | |
|--|---------------|
| 1. LCD Nextion 3.2 inch | 5. Fuse |
| 2. Buzzer | 6. Switch LCD |
| 3. Port USB | 7. Switch |
| 4. Lampu <i>fluorescent bluelight</i> 20 W | 8. Roda |

Berdasarkan Gambar 1, digunakan beberapa bahan seperti LCD Nextion 3.2 inch, *buzzer*, lampu *fluorescent*, *switch* LCD, *switch*, serta roda. LCD Nextion pada gambar berfungsi untuk menampilkan *timer* untuk *treatment*. LCD Nextion berfungsi menampilkan informasi berkaitan dengan kondisi lampu seperti *hourtime*, informasi kerusakan pada lampu dengan kondisi lampu mati, waktu *treatment* yang sedang berlangsung serta *countdown* pada waktu *treatment*. *Buzzer* berfungsi untuk memberikan alarm ketika *treatment* telah selesai. *Port* USB berfungsi untuk penghubung dari *laptop* ke mikrokontroler jika dilakukan perubahan pada kode pemrograman. *Switch* LCD berfungsi untuk memutus dan menghubungkan tegangan pada LCD Nextion ketika diperlukan perubahan pada

kode pemrograman di Arduino Uno. *Switch* berfungsi untuk membatasi alat terhubung secara langsung dengan catu daya. Lampu *fluorescent* merupakan lampu yang digunakan untuk terapi yang dilakukan pada pasien. Sedangkan *fuse* berfungsi sebagai pengaman alat ketika terjadi kenaikan arus secara drastis.

Desain perancangan dilakukan agar alat dapat bekerja sesuai dengan perancangan yang diinginkan. Alur kerja alat fototerapi yang akan dibuat dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 2. Diagram Alir Alur Kerja Alat Fototerapi untuk Bayi Hiperbilirubinemia

1.2. Pertimbangan Perancangan

Pada proses perancangan sistem alat fototerapi untuk bayi hiperbilirubinemia dibuat sebagai alat yang membantu untuk menurunkan kadar bilirubin pada bayi dengan penambahan fitur yang membantu pekerjaan petugas serta lebih terkontrolnya proses *treatment* dan penggunaan lampu sehingga proses yang ada menjadi lebih mudah. Berdasarkan hal tersebut, yang menjadi pertimbangan dan batas dalam proses perancangan dapat dilihat sebagai berikut.

1. Alat fototerapi dapat digunakan untuk bayi yang memiliki kondisi hiperbilirubinemia dengan kadar bilirubin dalam darah lebih besar dari 5mg/dL tanpa terdapat perbedaan dengan penurunan kadar bilirubin dengan alat yang sudah ada.
2. Besar iradiasi pada alat fototerapi harus di atas $176\mu\text{W}/\text{cm}^2$ pada jarak 50 cm.
3. Sistem memberikan notifikasi ketika terjadinya kerusakan pada lampu dengan kondisi lampu mati.
4. Sistem memberikan notifikasi *pop-up* dan *e-mail* ketika penggunaan lampu telah mencapai 1500 jam.
5. *Internet of Things* (IoT) digunakan untuk mengoperasikan alat fototerapi secara jarak jauh dengan koneksi jaringan internet pada alat beroperasi pada koneksi 3G dan 4G sedangkan koneksi pada smartphone paling tidak menggunakan koneksi 2G, 3G, dan 4G.
6. Penggunaan IoT pada alat digunakan sebagai kontrol dan *monitoring* pada alat fototerapi. Pada saat melakukan pengaturan waktu *treatment* serta menghidupkan lampu pada alat fototerapi dengan persentase eror waktu *treatment* sama dengan rancangan yang sudah ada.

1.3. Analisis Teknis

Secara teknis, alat fototerapi pada bayi hiperbilirubinemia telah dirancang untuk memenuhi tujuan perancangan yaitu mempermudah dan membantu pekerjaan petugas yang ada serta dapat menurunkan kadar bilirubin pada bayi. Oleh karena itu, alat fototerapi yang dirancang harus memenuhi klasifikasi.

Alat fototerapi dapat digunakan untuk bayi yang memiliki kondisi hiperbilirubinemia dengan kadar bilirubin dalam darah lebih besar dari 5mg/dL tanpa terdapat perbedaan dengan penurunan kadar bilirubin dengan alat yang sudah ada sebesar 2.5 ± 0.8 mg/dL [7]. Untuk kalibrasi iradiasi pada alat fototerapi harus di atas $176\mu\text{W}/\text{cm}^2$ pada jarak 50 cm [8]. Sistem alat fototerapi memiliki fitur dapat memberikan notifikasi ketika terjadinya kerusakan pada lampu dengan kondisi lampu mati serta memberikan notifikasi *pop-up* dan *e-mail* ketika penggunaan lampu telah mencapai 1500 jam untuk pergantian lampu ketika *hourtime* mencapai 2000 jam [14].

Alat fototerapi yang dirancang berbasis *Internet of Things* (IoT) digunakan untuk mengoperasikan alat fototerapi secara jarak jauh dengan koneksi jaringan internet pada alat beroperasi pada koneksi 3G dan 4G sedangkan koneksi pada smartphone paling tidak menggunakan koneksi 2G, 3G, dan 4G dengan sinyal kedua *smartphone* berkisar antara 3 hingga 4 bar. Selain itu, Penggunaan IoT pada alat digunakan sebagai kontrol dan *monitoring* pada alat fototerapi. Pada saat melakukan pengaturan waktu *treatment* serta menghidupkan lampu pada alat fototerapi dengan persentase eror waktu *treatment* di bawah 1% [12].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengukuran Iradiasi pada Alat Fototerapi

Pengukuran iradiasi pada lampu fototerapi dilakukan dengan menggunakan DALE 40 *Phototherapy Radiometer*. Alat ini merupakan alat khusus untuk melakukan pengukuran iradiasi untuk lampu yang digunakan pada alat fototerapi dengan panjang gelombang yang dapat di ukur berkisar antara 429-473 nm. Akurasi pengukuran menggunakan alat tersebut berkisar $\pm 5\%$ [15].

Sebelum alat dioperasikan ke pasien, terlebih dahulu dilakukan pengujian iradiasi lampu pada alat fototerapi. Hal ini bertujuan untuk melakukan kalibrasi dan menyamakan standar yang ditetapkan oleh ECRI (*Emergency Care Research Institute*) maupun Kemenkes RI (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia). Untuk standar yang ditetapkan oleh ECRI, pada lampu yang digunakan yaitu lampu merupakan lampu *bluelight* dengan panjang gelombang antara 420-475 nm dengan iradiasi sebesar $4\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$. Berdasarkan Kemenkes RI untuk besar iradiasi pada kalibrasi alat fototerapi, alat fototerapi harus memiliki iradiasi minimal sebesar $4\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ atau sekitar $176\mu\text{W}/\text{cm}^2$ pada jarak 50 cm. Hasil pengujian iradiasi alat fototerapi dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 2. Data Pengujian Iradiasi pada Alat Fototerapi

Jarak (cm)	Iradiasi ($\mu\text{W}/\text{cm}^2$)								
	Atas			Tengah			Bawah		
	Kiri (1)	Tengah (2)	Kanan (3)	Kiri (4)	Tengah (5)	Kanan (6)	Kiri (7)	Tengah (8)	Kanan (9)
30	905	1105	965	1305	1605	1407	1340	1649	1390
	969	1225	1232	1230	1601	1577	1215	1554	1574
	965	1238	1243	1238	1624	1539	1172	1559	1497
50	586	666	655	662	752	787	606	689	733
	701	662	698	747	844	780	662	762	666
	720	660	686	755	838	789	660	718	660



Gambar 3. Titik Pengukuran Iradiasi

Iradiasi pada lampu *bluelight* memiliki nilai di atas $500\mu\text{W}/\text{cm}^2$ di atas standar yang dikeluarkan Kemenkes RI. Nilai yang ditentukan oleh Kemenkes RI merupakan nilai minimum untuk iradiasi pada alat fototerapi. Semakin dekat titik pengukuran dengan alat fototerapi, maka semakin besar nilai iradiasi yang didapatkan pada titik tersebut.

3.2. Pengujian Performa Alat Fototerapi

Pengujian alat fototerapi dilakukan dengan mengoperasikan alat fototerapi pada subyek dan mengamati penurunan kadar bilirubin pada bayi serta penilaian dari petugas yang menggunakan alat dan petugas *maintenance* yang memperbaiki alat fototerapi. Untuk kriteria partisipan atau subyek terbagi menjadi dua, yaitu kriteria inklusi dan eksklusi. Kriteria inklusi merupakan ciri umum yang harus dipenuhi oleh target penelitian. Sedangkan kriteria eksklusi merupakan ciri yang tidak dipenuhi oleh target penelitian.

Kriteria inklusi calon subyek yaitu, pasien rawat inap di ruang perawatan bayi RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan, bayi baru lahir dengan usia kehamilan ≥ 35 minggu, berat badan bayi pada saat lahir ≥ 2200 gram, dan mengalami kondisi hiperbilirubinemia yang memerlukan fototerapi. Sedangkan untuk kriteria eksklusi calon subyek, yaitu bayi yang mengalami kondisi hiperbilirubinemia yang memerlukan tindakan transfusi tukar, memiliki kelainan bawaan mayor, bayi yang memiliki riwayat berkurangnya kadar oksigen dalam tubuh (asfiksia) ketika lahir, bayi dengan infeksi pada darah (sepsis neonatorum), serta bayi yang memiliki penyakit hemolitik [7].

Berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah dijabarkan, didapatkan 7 orang bayi yang telah memenuhi kriteria tersebut. Masing-masing bayi memiliki kondisi kesehatan yang berbeda-beda serta waktu *treatment* yang berbeda. Durasi *treatment* diatur berdasarkan kondisi bilirubin bayi dan diatur oleh Dokter Spesialis Anak. Selain itu, pengecekan sampel darah dilakukan setelah *treatment* selesai. Penelitian ini dilakukan di RSUD dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan di Ruang Bayi. Untuk data penurunan kadar bilirubin bayi dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 3. Data Pengujian alat Fototerapi terhadap Penurunan Bilirubin pada *Neonatal Jaundice*

No.	Nama Bayi	Usia (hari)	Berat Badan (gram)	Usia Kehamilan (minggu)	Kadar Bilirubin Bayi (mg/dL)		
					Awal	Ke-2	Akhir
1.	Bayi Ibu Herly	3	4020	36-37	12.47	12.16	8.87
2.	Bayi Ibu Shinta	2	4000	39-40	9.12	-	4.02
3.	Bayi Ibu Dewi	3	3050	aterm	13.48	8.1	Blind
4.	Bayi Ibu Marwatiyah	30	3500	aterm	11.5	7.84	Blind
5.	Bayi Ibu Irmawati	2	3180	39-40	16.98	13.35	Blind
6.	Bayi Ibu Wa Uhi	2	2960	36-37	Blind	-	7.08
7.	Bayi Ibu Stella Monica	1	3710	40-41	Blind	-	10.9

Keterangan:

: Kondisi tidak baik

: Kondisi baik



Gambar 4. Proses *Treatment* Menggunakan Alat Fototerapi Berbasis IoT

Berdasarkan Tabel 3, seluruh bayi lahir memiliki berat badan bayi yang beragam dalam kondisi kelahiran pada usia kehamilan cukup bulan yaitu ≥ 35 minggu. Pada kolom usia kehamilan, terdapat usia kehamilan aterm. Usia kehamilan aterm merupakan usia kehamilan cukup bulan untuk janin dilahirkan. Usia kehamilan aterm berkisar antara usia kehamilan 37-40 minggu. Pada bayi yang memiliki kadar bilirubin awal (bilirubin tidak *blind*) sebanyak 5 bayi dan dilakukan pengecekan setelah 2x24 jam sehingga didapatkan data kadar bilirubin pengecekan ke-2 atau kadar bilirubin akhir memiliki rata-rata penurunan kadar bilirubin sebesar 3.62 mg/dL, sehingga rata-rata penurunan kadar bilirubin harian sebesar 1.81 mg/dL. Dari hasil rata-rata kadar bilirubin dengan menggunakan alat fototerapi berbasis IoT berada diantara rentang nilai dari data yang sudah ada sebelumnya sebesar 2.5 ± 0.8 mg/dL.

3.3. Pengujian Sistem Melaksanakan Perintah Berdasarkan Jaringan

Alat fototerapi berbasis IoT merupakan alat yang dapat dioperasikan secara jarak jauh dan membutuhkan koneksi internet selama pengoperasian tersebut berlangsung. Selama pengujian berlangsung, koneksi internet pada alat fototerapi menggunakan kartu dengan operator 3 (Tri). Pengaturan koneksi internet antara alat dan *smartphone* yang menggunakan aplikasi Blynk menggunakan koneksi internet dari 2 buah *smartphone* yang berbeda. Pada alat fototerapi, koneksi internetnya berasal dari koneksi internet *smartphone* kemudian *smartphone* tersebut memberikan *hotspot* kepada alat fototerapi. Ketika koneksi alat fototerapi dalam koneksi 3G atau 4G, dilakukan pengaturan pada *smartphone* sehingga jaringan yang digunakan dapat divariasikan. Pada koneksi internet *smartphone* yang menggunakan aplikasi Blynk, jaringan internet di atur sesuai dengan koneksi yang ada, yaitu dalam kondisi 2G, 3G, dan 4G. Dari pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 4. Data Pengujian Sistem Melaksanakan Perintah Berdasarkan Jaringan

No.	Koneksi Alat	Koneksi Jaringan pada <i>Smartphone</i>	Perintah	Waktu <i>Delay</i> (detik)	Status	
1.	4G	2G	Menjalankan Waktu <i>Treatment</i>	2	Berhasil	
2.				2	Berhasil	
3.				2	Berhasil	
4.				2	Berhasil	
5.				3	Berhasil	
6.		3G		2	Berhasil	
7.				2	Berhasil	
8.				2	Berhasil	
9.				2	Berhasil	
10.				2	Berhasil	
11.		4G		4G	2	Berhasil
12.					2	Berhasil
13.					2	Berhasil
14.					2	Berhasil
15.					2	Berhasil
16.	4G	2G	Membatalkan Waktu <i>Treatment</i>	2	Berhasil	
17.				2	Berhasil	
18.				2	Berhasil	
19.				2	Berhasil	
20.				2	Berhasil	
21.				5	Berhasil	
22.		3G		2	Berhasil	

No.	Koneksi Alat	Koneksi Jaringan pada Smartphone	Perintah	Waktu Delay (detik)	Status			
23.		4G		2	Berhasil			
24.				2	Berhasil			
25.				3	Berhasil			
26.				2	Berhasil			
27.				3	Berhasil			
28.				2	Berhasil			
29.				2	Berhasil			
30.				2	Berhasil			
31.				3G	2G	Menjalankan Waktu Treatment	2	Berhasil
32.							2	Berhasil
33.	2	Berhasil						
34.	2	Berhasil						
35.	3	Berhasil						
36.	3G	3G	2		Berhasil			
37.			2		Berhasil			
38.			2		Berhasil			
39.			2		Berhasil			
40.			2		Berhasil			
41.	4G	4G	2		Berhasil			
42.			2		Berhasil			
43.			2		Berhasil			
44.			2		Berhasil			
45.			2		Berhasil			
46.	3G	2G	Membatalkan Waktu Treatment	2	Berhasil			
47.				2	Berhasil			
48.				2	Berhasil			
49.				7	Berhasil			
50.				5	Berhasil			
51.		3G		3G	4	Berhasil		
52.					4	Berhasil		
53.					3	Berhasil		
54.					3	Berhasil		
55.					2	Berhasil		
56.		4G		4G	2	Berhasil		
57.					4	Berhasil		
58.					2	Berhasil		
59.					3	Berhasil		
60.					2	Berhasil		

Keterangan:

 : Kondisi tidak baik : Kondisi baik

Pada Tabel 4, dapat dilihat bahwa sistem dapat bekerja di berbagai jaringan dengan kondisi koneksi alat terhubung dengan jaringan 4G dan 3G dengan menggunakan operator 3 (Tri). Sedangkan koneksi internet pada smartphone yang menggunakan aplikasi Blynk, jaringan divariasikan dengan koneksi jaringan 2G, 3G, dan 4G. Kedua koneksi internet tersebut dalam kondisi sinyal 3 hingga 4 bar. Namun, kondisi jaringan juga mempengaruhi durasi perintah yang akan diproses. Hal ini dapat dilihat pada perintah menjalankan waktu *treatment* dengan kondisi jaringan *smartphone* di seluruh kondisi jaringan. Beberapa data menunjukkan waktu *delay* selama 3 detik

hingga 7 detik, hal ini dikarenakan kualitas jaringan yang menurun sehingga pengiriman perintah dari *smartphone* ke alat fototerapi menjadi terhambat. Namun, secara keseluruhan, rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk menjalankan perintah yang diberikan (waktu *delay*) sebesar 2 detik. Waktu *delay* tersebut terjadi karena dibutuhkan waktu untuk *relay* memproses perintah yang diberikan untuk menyambungkan atau memutuskan aliran listrik ke lampu

3.4. Pengujian Sistem Melaksanakan Waktu *Treatment*

Pada penelitian sebelumnya, persentase eror antara waktu *treatment* yang ada dengan pengukuran menggunakan *stopwatch* pada saat 6 jam sebesar 0.63%, 12 jam sebesar 0.56% , 18 jam sebesar 0.53% , dan 24 jam sebesar 0.56% [12]. Seluruh data persentase eror tersebut berada di bawah 1%. Pada alat fototerapi berbasis IoT, dapat dilakukan pengaturan durasi *treatment* untuk mengatur waktu *treatment* sesuai dengan yang dibutuhkan dengan persentase eror di bawah 1%. Pengujian dilakukan dengan 2 metode, yaitu menggunakan aplikasi Blynk serta menggunakan LCD Nextion. Dari pengujian yang dilakukan, didapatkan data sebagai berikut.

Tabel 5. Data Pengujian Sistem Melaksanakan Waktu *Treatment* Menggunakan Aplikasi Blynk

No.	Koneksi	Durasi <i>Treatment</i>	Waktu yang Terbaca	% Error
1.	4G	02:00:00.00	01:58:56.82	0.89 %
2.		02:00:00.00	01:59:01.47	0.82 %
3.		02:00:00.00	01:58:59.85	0.85 %
4.		02:00:00.00	01:58:56.87	0.89 %
5.		02:00:00.00	01.58:57.57	0.87 %
Rata-Rata %Error				0.86 %

Tabel 6. Data Pengujian Sistem Melaksanakan Waktu *Treatment* Menggunakan LCD Nextion

No.	Durasi <i>Treatment</i>	Waktu yang Terbaca	% Error
1.	02:00:00.00	01:59:04.89	0.78%
2.	02:00:00.00	01:59:02.70	0.81%
3.	02:00:00.00	01:58:58.53	0.86%
4.	02:00:00.00	01:59:02.63	0.81%
5.	02:00:00.00	01:59:02.91	0.81%
Rata-Rata %Error			0.81%

Keterangan:

 : Kondisi tidak baik

 : Kondisi baik

Berdasarkan pengujian menggunakan aplikasi Blynk (Tabel 5.) dan LCD Nextion (Tabel 6.), terdapat perbedaan persentase eror antara keduanya. Persentase eror waktu *treatment* pada aplikasi Blynk sebesar 0.86% dan pada LCD Nextion sebesar 0.81%. Namun, pada kedua pengujian yang telah dilakukan, persentase error keduanya di bawah 1%. Perbedaan persentase eror antara waktu *treatment* menggunakan aplikasi Blynk dan LCD Nextion disebabkan karena adanya kesalahan ketika melakukan pemrograman di aplikasi Nextion Editor serta terdapat perbedaan waktu ketika tombol *start* atau *submit* ditekan dengan *start* pada *stopwatch*.

3.5. Pengujian Akurasi Sensor Mendeteksi Lampu yang Mengalami Kerusakan

Pada alat fototerapi, dilakukan perancangan agar alat fototerapi dapat mendeteksi ketika terjadinya kerusakan pada lampu dengan kondisi lampu mati. Oleh sebab itu, alat fototerapi dilengkapi dengan sensor yang dapat mengetahui kondisi lampu dalam kondisi baik atau mengalami kerusakan. Pengujian ini dilakukan pada pembacaan yang ditampilkan pada LCD Nextion serta pengujian pembacaan yang ditampilkan pada aplikasi Blynk. Dari pengujian yang dilakukan, didapatkan hasil sebagai berikut.

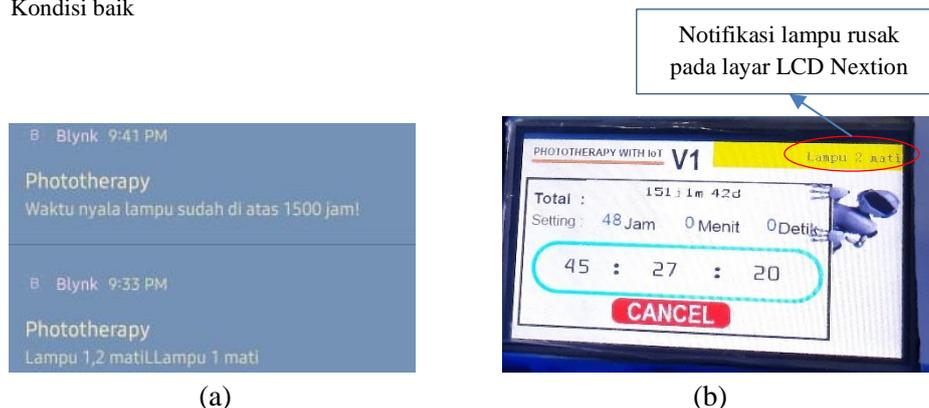
Tabel 7. Data Pengujian Pembacaan Kondisi Lampu pada Aplikasi Blynk dan LCD Nextion

No.	Kondisi Lampu yang Sebenarnya	Kondisi Lampu yang Terbaca
1.	Semua Lampu Baik	Semua Lampu OK
2.	Lampu 1 mati	Lampu 1 mati
3.	Lampu 2 mati	Lampu 2 mati
4.	Lampu 3 mati	Lampu 3 mati
5.	Lampu 4 mati	Lampu 4 mati
6.	Lampu 5 mati	Lampu 5 mati
7.	Lampu 1 dan 2 mati	Lampu 1, 2 mati
8.	Lampu 2 dan 3 mati	Lampu 2, 3 mati
9.	Lampu 3 dan 4 mati	Lampu 3, 4 mati
10.	Lampu 4 dan 5 mati	Lampu 4, 5 mati
11.	Lampu 1 dan 5 mati	Lampu 1, 5 mati

Keterangan:

: Kondisi tidak baik

: Kondisi baik



Gambar 5. Notifikasi Kerusakan Lampu pada (a) Aplikasi Blynk dan (b) LCD Nextion

Berdasarkan data pada Tabel 7, alat fototerapi dapat memberikan notifikasi melalui *smartphone* ketika kondisi lampu dalam keadaan mati. Namun, ketika notifikasi diberikan seperti pada Gambar 5, terjadi pembacaan penurunan nilai analog LDR saat pembacaan awal pada lampu 1 dan lampu 2 dibawah batas yang diberikan dengan kondisi sebenarnya hanya lampu 1 dalam kondisi mati. Sehingga notifikasi awal yang diberikan adalah “Lampu 1,2 mati”. Namun, ketika pembacaan telah stabil, notifikasi yang diberikan sesuai dengan kondisi sebenarnya yaitu lampu 1 dalam kondisi mati.

3.6. Pengujian Pemberitahuan ketika Penggunaan Lampu Telah Mencapai Waktu yang Ditentukan

Penggunaan lampu fototerapi secara terus menerus dapat mengurangi kualitas cahaya yang dipancarkan. Penurunan kualitas cahaya pada alat fototerapi akan mengurangi efektivitas dalam penurunan kadar bilirubin pada *neonatal jaundice* atau bayi kuning yang mengalami kondisi hiperbilirubinemia. Oleh sebab itu, dibutuhkan pengecekan secara berkala untuk melakukan pergantian lampu pada alat fototerapi. Berdasarkan standar yang dikeluarkan oleh GEA XHZ90, lampu fototerapi perlu diganti ketika mencapai 2000 jam pemakaian atau ketika iradiasi lampu fototerapi pada jarak 50 cm kurang dari $176\mu\text{W}/\text{cm}^2$.

Alat fototerapi berbasis IoT dirancang untuk memberikan notifikasi ketika *hourtime* lampu berada di atas 1500 jam. Hal ini bertujuan untuk memberikan waktu untuk proses pengadaan lampu sebelum lampu dilakukan pergantian ketika mencapai 2000 jam. Pada pengujian ini, dilakukan pengujian pemberitahuan ketika penggunaan lampu telah mencapai waktu yang telah ditentukan yaitu di atas 1500 jam. Untuk mempersingkat waktu pengujian, maka satuan waktu di ubah ke dalam menit sehingga menghasilkan waktu 1500 jam menjadi 9×10^4 menit dengan menggunakan perbandingan waktu selama 9 menit dibandingkan dengan waktu sebenarnya, sehingga skala yang digunakan yaitu $1:10^4$. Dari pengujian yang dilakukan, didapatkan hasil sebagai berikut.

Tabel 8. Data Pengujian Notifikasi Melalui *e-mail* dan Notifikasi *Pop-Up* untuk *Hourtime* Lampu

No.	Tanggal Jam	Status Notifikasi <i>e-mail</i>	Status Notifikasi <i>Pop-Up</i>
1.	16 Mei 2021 21.41 WITA	Terkirim	Terkirim
2.	16 Mei 2021 22.15 WITA	Terkirim	Terkirim
3.	16 Mei 2021 22.55 WITA	Terkirim	Terkirim
4.	16 Mei 2021 23.13 WITA	Terkirim	Terkirim
5.	16 Mei 2021 23.59 WITA	Terkirim	Terkirim
6.	17 Mei 2021 00.07 WITA	Terkirim	Terkirim
7.	17 Mei 2021 00.09 WITA	Terkirim	Terkirim
8.	17 Mei 2021 00.26 WITA	Terkirim	Terkirim
9.	19 Mei 2021 15.14 WITA	Terkirim	Terkirim
10.	19 Mei 2021 17.01 WITA	Terkirim	Terkirim

Keterangan:

 : Kondisi tidak baik

 : Kondisi baik

Berdasarkan Tabel 8. notifikasi diberikan ketika *hourtime* lampu telah mencapai 9 menit. Namun, pada percobaan yang dilakukan waktu pemakaian melebihi 9 menit dan tidak dilakukan reset waktu, sehingga waktu terus berjalan sesuai dengan *hourtime* yang ada. Kondisi jaringan yang digunakan pada alat menggunakan koneksi 4G dengan operator 3 (Tri) serta kondisi *smartphone*

yang terdapat aplikasi Blynk menggunakan koneksi internet 4G dan operator 3 (Tri). Dari hasil yang didapatkan, ketika alat selesai digunakan dan *hourtime* telah terakumulasi, ketika *hourtime* melebihi 9 menit maka terdapat notifikasi *pop-up* serta notifikasi yang dikirimkan ke *e-mail*. Sehingga alat tersebut dapat menjalankan sesuai dengan perintah yang diberikan.

3.7. Pengujian Perubahan pada Wi-Fi ID dan Password

Alat fototerapi menggunakan NodeMCU yang memiliki modul Wi-Fi ESP8266. Untuk menggunakan koneksi internet, dilakukan pemrograman melalui Arduino IDE dengan menyisipkan ssid dan pass saat dilakukan pemrograman. Oleh sebab itu, jika ingin menggunakan koneksi internet selain Wi-Fi yang terdapat pada kode pemrograman, maka perlu dilakukan pemrograman kembali pada *board* NodeMCU. Berdasarkan permasalahan tersebut, maka dibuatlah sistem yang tertanam pada LCD Nextion, Arduino Uno, NodeMCU, dan kartu MikroSD agar perubahan Wi-Fi dapat dilakukan tanpa perlu melakukan pemrograman kembali. Perubahan Wi-Fi dapat dilakukan menggunakan LCD Nextion yang tersedia. Oleh sebab itu, dilakukan pengambilan data dengan mengubah koneksi internet dengan berbagai macam Wi-Fi ID dan *password*. Untuk pengujian perubahan pada Wi-Fi ID dan *password* dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 9. Data Pengujian Perubahan pada Wi-Fi ID dan Password

No.	Wi-Fi ID Awal Password Awal	Wi-Fi ID Baru Password Baru	Status
1.	- -	n nidakinadhani15	Terhubung
2.	n nidakinadhani15	Galaxy A21s5ABA neneksani	Terhubung
3.	Galaxy A21s5ABA neneksani	nd nidakinadhani	Terhubung
4.	nd nidakinadhani	N. terbanglah	Terhubung
5.	N. terbanglah	bla balala15	Terhubung
6.	bla balala15	gitar akustikku	Terhubung
7.	gitar akustikku	fire kembangapi	Terhubung
8.	fire kembangapi	umi UmiAisyah	Terhubung
9.	umi UmiAisyah	abi kebidannemi	Terhubung
10.	abi kebidannemi	- -	Koneksi internet pada alat terputus

Keterangan:

 : Kondisi tidak baik

 : Kondisi baik



Gambar 6. Koneksi Wi-Fi dan *Password* (a) Sebelum Terisi dan (b) Sesudah Terisi

Berdasarkan Tabel 9, alat dapat mengubah koneksi internet dengan berbagai macam Wi-Fi ID dan *password*. Untuk mengubah Wi-Fi ID dan *password*, perlu memasukkan Wi-Fi ID dan *password* di menu Wi-Fi pada LCD Nextion. Kemudian, untuk Wi-Fi dan *password* yang telah dimasukkan, disimpan terlebih dahulu di kartu MikroSD. Namun, ketika Wi-Fi dan *password* telah disimpan, koneksi internet tidak langsung terhubung. Hal ini disebabkan karena perlu dilakukan pemutusan koneksi internet sebelum dihubungkan ke koneksi internet yang terbaru. Oleh sebab itu, perlu dilakukan pemutusan tegangan dengan mengubah posisi switch menjadi OFF, kemudian switch kembali diposisikan ke posisi ON sehingga koneksi internet terbaru dapat terhubung. Ketika koneksi internet telah menggunakan koneksi terbaru, alat siap dioperasikan menggunakan aplikasi Blynk.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan perancangan sistem alat fototerapi yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa sistem alat fototerapi berbasis IoT memiliki iradiasi di atas standar minimum yang telah ditentukan oleh Kemenkes RI dengan besar iradiasi pada jarak 50 cm berada diantara $586 - 844 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. Alat fototerapi berbasis IoT dapat menurunkan kadar bilirubin pada *neonatal jaundice* atau bayi yang mengalami hiperbilirubinemia dengan rata-rata nilai berada pada rentang dari penelitian sebelumnya. Selain itu, alat fototerapi dapat menjalankan perintah *treatment* atau membatalkan *treatment* menggunakan aplikasi Blynk saat kondisi jaringan 2G, 3G, dan 4G dengan kondisi jaringan pada NodeMCU berada pada jaringan 3G dan 4G. Pada alat fototerapi terdapat perbedaan waktu antara durasi *treatment* pada alat fototerapi dengan *stopwatch* yang disebabkan karena kesalahan ketika pemrograman dengan eror yang dihasilkan di bawah 1%. Alat fototerapi juga dapat memberikan notifikasi ketika ada lampu yang mengalami kerusakan, serta notifikasi ketika penggunaan lampu di atas 1500 jam. Alat fototerapi berbasis IoT juga dilengkapi dengan Wi-Fi ID dan *password* yang dapat diubah dengan menggunakan LCD Nextion yang terpasang pada alat.

4.2. Saran

Perancangan alat fototerapi berbasis IoT diharapkan dapat memudahkan para petugas untuk melakukan kontrol serta memonitor kondisi lampu agar mempertahankan efektivitas terhadap penurunan kadar bilirubin pada *neonatal jaundice* atau bayi yang mengalami hiperbilirubinemia. Untuk kinerja alat dan kemudahan yang lebih baik, diharapkan poin masukan yang dapat dipertimbangkan dalam perancangan selanjutnya dengan menyederhanakan bentuk alat fototerapi agar lebih sederhana dan mudah dipindahkan serta menambahkan alat pengukuran iradiasi yang terpasang pada alat fototerapi untuk memonitor kondisi lampu jika telah di bawah standar yang telah ditetapkan Kemenkes RI.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Loka Pengamanan Fasilitas Kesehatan (LPFK) Banjarbaru serta Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) dr. Kanujoso Djatiwibowo Balikpapan yang telah memberi dukungan dengan membantu pelaksanaan penelitian dan atau penulisan artikel.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] World Health Organization, "World Health Organization," 2013. [Online]. Available: https://www.who.int/medical_devices/innovation/compendium_med_dev2013_9.pdf?ua=1. [Diakses 28 Agustus 2020].
- [2] World Health Organization, "Phototherapy Units, Hyperbilirubinemia," Hospital Medical Equipment - General Information, 2012.
- [3] World Health Organization, WHO Recommendations on Newborn Health Guidelines Approved By The WHO Guidelines Review Committee, World Health Organization, 2017.
- [4] ECRI Institute Medical Device Safety Reports (MDSR), "Inappropriate Phototherapy Replacement Tubes," ECRI (Emergency Care Research Institute), [Online]. Available: http://www.mdsr.ecri.org/summary/detail.aspx?doc_id=8134. [Diakses 28 Agustus 2020].
- [5] ECRI Institute Medical Device Safety Reports (MDSR), "Phototherapy Bililights for the Jaundiced Infant," ECRI (Emergency Care Research Institute), [Online]. Available: http://www.mdsr.ecri.org/summary/detail.aspx?doc_id=8258. [Diakses 28 Agustus 2020].
- [6] A. Sukadi, "Hiperbilirubinemia," dalam Buku Ajar Neonatologi, Jakarta, Ikatan Dokter Anak Indonesia, 2012, pp. 147-169.
- [7] A. K. S. Dewi, I. M. Kardana dan K. Suarta, "Efektivitas Fototerapi Terhadap Penurunan Kadar Bilirubin Total pada," Sari Pediatri, vol. 18, no. 2, pp. 81-86, 2016.
- [8] Kementerian Kesehatan RI, Metode Kerja Pengujian dan Kalibrasi Alat Kesehatan 2nd ed., Jakarta: Direktorat Jenderal Pelayanan Kesehatan, 2020.
- [9] Royan, K. Mukti Wibowo, G. Romadhona dan A. Widianoro, "Penerapan Internet of Things (IoT) pada Perangkat Phototherapy," Cyclotron, vol. 3, no. 2, pp. 37-40, 2020.
- [10] Medical Expo, "Medical Expo," PT. Fyrom International, [Online]. Available: <https://www.medicalexpo.com/prod/pt-fyrom-international/product-77088-472377.html>. [Diakses 6 October 2020].
- [11] D. A. S. Santiari dan P. A. M. Putra, "Kajian Area Penyinaran Dan Nilai Intensitas pada Peralatan Blue Light Therapy," Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, vol. 17, no. 2, pp. 279-286, 2018.
- [12] S. A.w dan S. Triwiyanto, "PHOTOTHERAPY UNIT DENGAN HOURMETER MIKROKONTROLLER," May 2015. [Online]. Available: <http://digilib.poltekkesdepkes-sby.ac.id/public/POLTEKKESBY-Studi-647-draftSEMINAR.pdf>. [Diakses 6 October 2020].
- [13] E. Supriyadi dan K. Nurman, "RANCANG BANGUN ALAT PHOTOTHERAPY MENGGUNAKAN LED BERBASIS," Sinusoida, vol. XIX, no. 02, pp. 38-47, 2017.
- [14] Ningbo David, "eastcoastmedical," [Online]. Available: https://www.eastcoastmedical.co.za/XHZ90_Brochure.pdf. [Diakses 12 October 2020].
- [15] "Fluke Biomedical," Fluke, [Online]. Available: <https://www.flukebiomedical.com/products/biomedical-test-equipment/phototherapy-radiometers/dale40-phototherapy-radiometer>. [Diakses 19 May 2021].