

# PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI *PRINTED CIRCUIT BOARD* (PCB) RAMAH LINGKUNGAN MENGGUNAKAN *CONDUCTIVE INK*

Chandra Dwigista<sup>1</sup>, Decy Nataliana<sup>2</sup>, Sabat Anwari<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Jurusan Teknik Elektronika, Fakultas Teknik Industri, Institut Teknologi Nasional Bandung, Bandung  
<sup>1,2,3</sup>Jln. P.H.H Mustopha No.23, Bandung, (022) 7272215, Indonesia  
email: <sup>1</sup>cdwigista1@gmail.com

**Abstract** – Environmentally friendly PCB is a concept realized in electronic systems that does not cause harm to the environment. This can be realized using a *conductive ink* medium that will act as a conductor of electric current and cardboard, PVC, and duplex as a medium for making PCB paths. The development of environmentally friendly innovations on PCBs is needed because the use of FR4 on old PCB technology is very difficult to recycle. In this study, an evaluation of the performance of the circuit produced from environmentally friendly PCBs will be carried out. The eco-friendly PCB will be printed using a pre-designed CNC *Plotter* machine. The results showed that the resistance produced by environmentally friendly PCBs is quite high at 171.4 per 5cm compared to the resistance using copper circuits with a thickness of (35x10-6m) which is 8.57 $\Omega$  per 5cm. With the high resistance of environmentally friendly PCBs, the power absorbed by environmentally friendly PCBs is quite large. However, the circuit can work optimally in its application.

**Keywords:** *Conductive ink*, PCB, CNC *Plotter*, Environmental friendly, FR4

**Abstrak** – Penelitian ini merupakan perancangan dan implementasi PCB (*Printed Circuit Board*) ramah lingkungan menggunakan *conductive ink*. PCB ramah lingkungan merupakan sebuah konsep realisasi dalam sistem elektronik yang tidak menimbulkan dampak kerugian pada lingkungan. Hal ini dapat direalisasikan menggunakan media tinta konduktif yang akan berperan sebagai penghantar arus listrik dan kardus, pvc, dan duplex sebagai media untuk pembuatan jalur PCB. Pengembangan inovasi ramah lingkungan pada PCB dibutuhkan karena penggunaan FR4 pada teknologi PCB lama sangat sulit untuk di daur ulang. Dalam penelitian ini akan dilakukan evaluasi performa circuit yang dihasilkan dari PCB ramah lingkungan. PCB ramah lingkungan akan dicetak menggunakan mesin CNC *Plotter* yang telah dirancang sebelumnya. Hasil penelitian diperoleh bahwa resistansi yang dihasilkan PCB ramah lingkungan cukup tinggi 171,4  $\Omega$  per 5cm dibandingkan dengan resistansi menggunakan sirkuit tembaga yang tebalnya (35x10-6m) yakni 8.57 $\Omega$  per 5cm. Dengan tingginya resistansi yang dimiliki PCB ramah lingkungan, menyebabkan daya yang diserap PCB ramah lingkungan cukup besar. Meskipun demikian circuit dapat bekerja secara optimal pada pengaplikasiannya.

**Kata Kunci:** Tinta Konduktif, PCB, CNC *Plotter*, Ramah Lingkungan, FR4

## I. PENDAHULUAN

PCB atau *Printed Circuit Board* adalah sebuah circuit atau jalur - jalur rangkaian elektronik yang memiliki konduktivitas dari bahan konduktor seperti tembaga, dibuat pada sebuah circuit board atau papan sirkuit guna untuk penghubung anantara komponen – komponen elektronik. Penggunaan PCB dalam sebuah alat elektronik sudah sangat pasti dibutuhkan, namun PCB yang digunakan secara luas mengandung banyak bahan kimia berbahaya salah satu contoh bahan tersebut adalah FR4. Bahaya dari bahan – bahan yang terdapat dalam PCB bisa mengakibatkan kerusakan lingkungan jika alat elektronik yang sudah tidak terpakai dibuang di sembarang tempat, contoh kecil pembuangan sebuah alat elektronik yang sudah usang pada sebuah sungai. Hal tersebut bisa menyebabkan pencemaran di ekosistem sungai yang bisa membahayakan mahluk hidup yang menggunakan air sungai juga bisa terancam kesehatannya.

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk meminimalisir bahan berbahaya yang terdapat pada PCB. Seperti pada penelitian Lamprecht, Gunter Heinz, Neil Patton, Stephen Kenny dan Patrick Brooks, mereka menggunakan sebuah kaca yang tahan suhu tinggi dan sebuah halogen untuk merancang “Green PCB” [4]. Lalu penelitin Albin, David Rames, Jean-Claude Dietel, Claudia Lenfert, Kai et al menggunakan sebuah metoda bahan cair dielektrik yang digunakan dalam pembuatan PCB agar mengurangi bahan – bahan kimia berbahaya dan proses pembuatan PCB lebih efisien [1].

Dilihat dari masalah dan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, maka dari itu penelitian ini memiliki tujuan untuk membuat PCB ramah lingkungan dengan menggunakan sebuah media yang mudah untuk proses daur ulang dan tinta konduktif sebagai jalur sirkuit pada papan PCB untuk mengurangi kandungan bahan kimia yang terdapat dalam PCB. Batasan masalah dalam penelitian ini diantaranya adalah :

1. Menggunakan “*Buddy Paint Kit*” sebagai tinta konduktif.
2. Bahan dasar papan sirkuit yang digunakan duplex ,karton, dan PVC.
3. PCB yang dicetak harus dalam bentuk *Single Layer*.
4. Pengujian tegangan output terbagi menjadi 3 tahap, tahap 1 untuk 5v, tahap 2 untuk 9v, tahap 3 untuk 12v.
5. Pengujian arus dan suhu pada jalur akan dibagi menjadi 3 tahap, tahap 1 untuk 5v, tahap 2 untuk 9A, tahap 3 untuk 12v

- Rangkaian yang digunakan dalam pengujian adalah rangkain sederhana untuk menyalakan LED.
- Panjang garis sirkuit dibagi menjadi 2, pertama 5cm, kedua 10cm.
- Menggunakan LED HPL 1 Watt.
- PCB konvensional yang dimaksud adalah jalur PCB berbahan dasar tembaga.

\* ) **penulis korespondensi:** Chandra Dwigista

Email: cdwigista1@gmail.com

## II. PENELITIAN YANG TERKAIT

Pada tahun 2008, penelitian yang dilakukan oleh Sven Lamprecht, Gunter Heinz, Neil Patton, Stephen Kenny dan Patrick Brooks mengenai “Green PCB production”, timnya mencoba menggantikan RoHS “Restriction of Hazardous Substance” yang digunakan pada PCB. RoHS adalah sebuah bahan atau material baik berupa gas, likuid, maupun benda padat yang sangat berbahaya bagi lingkungan dan makhluk hidup untuk pembuatannya [4]. Digunakanya RoHS ini guna untuk ketahanan PCB pada suhu yang tinggi. Untuk itu mereka menggunakan sebuah kaca yang tahan untuk suhu tinggi dan sebuah halogen untuk “Green PCB” yang meraka rancang.

Pada tahun 2001, Albin, David Rames, Jean-Claude Dietel, Claudia Lenfert, Kai et al melakukan sebuah penelitian bagaimana cara memproduksi sebuah PCB yang menggunakan bahan kimia yang kurang berbahaya untuk industri PCB di Eropa menggunakan sebuah metoda “vias catalysed” [1]. Sebuah metoda menggunakan bahan cair dielektrik yang digunakan dalam pembuatan PCB agar mengurangi bahan – bahan kimia berbahaya dan proses pembuatan PCB lebih efisien.

Pada tahun 2010, Huw J Lewis dan Alan Ryan melakukan penelitian tentang “Printing as an Alternative Manufacturing Process for Printed Circuit Boards” [5]. Mereka meneliti tentang teknik – teknik dalam pembuatan sebuah PCB, baik itu single layer, double layer, dan multi layer. Salah satu contoh mereka membuat sebuah PCB dengan teknik mencetak sebagai alternatif. Menggunakan sebuah Screen Filtering Screen lalu menggunakan sebuah tinta konduktif sebagai jalur konduktifnya.

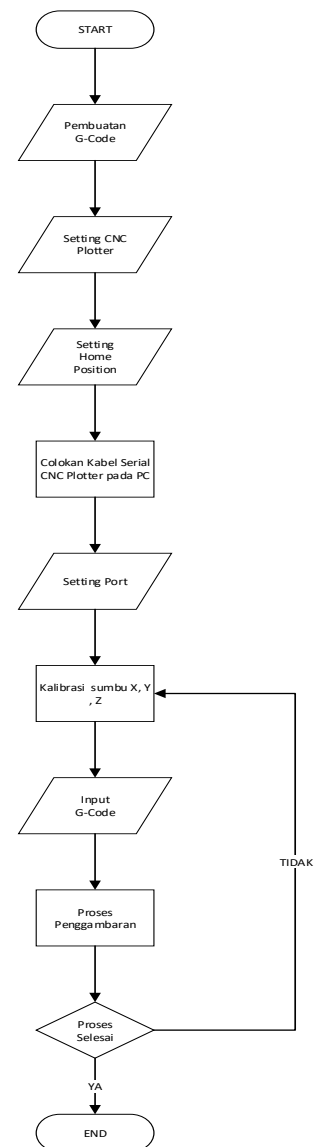
Pada tahun 2013, E.H. Jewell, S.M. Hamblyn, T.C. Claypole dan D.T. Gethin melakukan penelitian tentang bahan untuk menggantikan tembaga, perak, atau timah sebagai jalur sebuah PCB [3]. Mereka menggunakan sebuah karbon dan grafit sebagai bahan dasar untuk pembuatan jalur. Ketika karbon dan grafit dicampurkan dengan bahan – bahan tertentu, maka akan menghasilkan sebuah konduktifitas yang bagus.

Pada tahun 2016, Anonymus melakukan sebuah penelitian tentang “Particle-Free Conductive inks for Better Printed Electronics”. Dalam penelitiannya dia menjelaskan bahwa “conductive ink” yang dibuat itu sangat bagus untuk pembuatan sebuah sirkuit PCB kedepannya. Karena ketebalan jalur yang dihasilkan oleh tinta konduktif ini sangat lah tipis, karena tinta konduktif ini dibuat oleh nano-scale metallic atau dari sebuah karbon yang dicampurkan dengan polymeric binders dan dispersant [2]. Dalam percobaan penelitian, tinta konduktif ini diuji kelenturannya dan diuji daya tahan nya terhadap kondisi cuaca yang berbeda.

## III. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk dapat mengimplementasikan PCB yang ramah lingkungan diperlukan sebuah alat yang mampu mencetak jalur secara akurat dan presisi. Maka dari itu penelitian ini dilakukan menggunakan sebuah alat berbasis CNC *Plotter* yang dapat menggantikan peran engineer dalam membuat PCB secara manual. Sehingga bab ini akan membahas mengenai metodologi penelitian, metodologi perancangan PCB ramah lingkungan dan spesifikasi PCB, metodologi penggunaan perangkat lunak alat berbasis CNC *Plotter*, metodologi pengujian sistem dan metodologi pengambilan data.

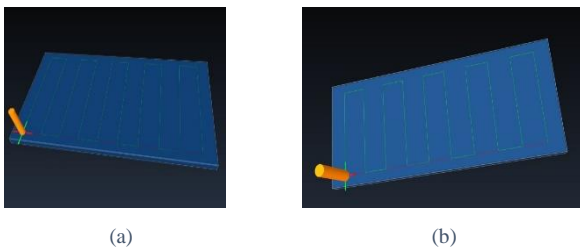
Kerangka penelitian yang akan dilakukan diawali dengan studi literatur untuk mencari informasi spesifikasi sistem yang sesuai untuk menyelesaikan permasalahan yang diangkat dalam Bab Pendahuluan. Kemudian dilakukan perancangan alat berbasis CNC *Plotter* dan implementasi. Setelah alat berbasis CNC *Plotter* bekerja dan mencetak PCB ramah lingkungan, maka dilakukan pengujian performa circuit dengan cara memberikan nilai tegangan, arus, dan beban yang telah ditentukan agar mendapatkan spesifikasi sistem yang diharapkan. Pada Gambar 1 ditunjukkan flowchart kerangka penelitian dilaksanakan.



Gambar 1. FlowChart Proses Pembuatan PCB

Penggunaan alat berbasis CNC *Plotter* dilakukan untuk dapat menyesuaikan antara fungsi serta kebutuhan dalam penelitian ini. Dalam menggunakan CNC *Plotter* dibutuhkan perangkat lunak sistem alat berbasis CNC *Plotter* dengan merubah input G-code yang berasal dari hasil konversi *Inkscape* menjadi input G-code manual sesuai dengan kebutuhan penelitian.

PCB ramah lingkungan yang direalisasikan berbahan dasar kardus serta tinta konduktif yang berperan sebagai media penghantar listrik. PCB ramah lingkungan tersebut dicetak dalam ukuran (5cm x 0.1 - 0.5 cm) dan (10cm x 0.1 - 0.5 cm) dengan skema rangkaian yang ditampilkan pada gambar berikut ini. Pada Gambar 2 dapat dilihat bahwa panjang lintasan yang dicetak sebagai PCB ramah lingkungan memiliki panjang masing 5 cm dan 10 cm.



Gambar 2. (a) Jalur PCB 10 cm dan (b) Jalur PCB 5 cm.

Digunakan panjang 5cm dan 10cm karena dalam pembuatan sebuah PCB jalur umum yang digunakan berkisar antara 5 – 10 cm. Untuk mendapatkan panjang jalur yang dibutuhkan diperlukan sebuah G-code. Berikut G-code yang digunakan dalam pembuatan jalur :

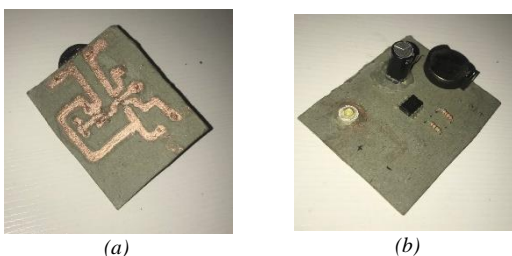
G-code jalur 10 cm:

m5  
G90  
G21  
G1 F2500  
G91 X0  
m3 S30  
G4 P1  
G91 F3000  
G91 Y32  
m5

G-code jalur 5 cm :

m5  
G90  
G21  
G1 F2500  
G91 X0  
m3 S30  
G4 P1  
G91 F3000  
G91 Y16  
m5

Realisasi PCB ramah lingkungan dan PCB manual sesuai dengan perancangan dan spesifikasi PCB ramah lingkungan dan PCB Manual. Gambar 3 ditampilkan realisasi tersebut.



Gambar 3. PCB ramah lingkungan berbahan dasar kerats duplex

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pengujian tanpa beban, tegangan yang dihasilkan sama dengan tegangan sumber yang diberikan ( $V_{in} = V_{out}$ ) karena rangkaian bersifat open circuit. Pengujian dengan menggunakan beban HPL LED 1w 3,3v, tegangan yang didapat dari hasil pengukuran dengan panjang jalur sirkuit 5cm bervariasi antara (2,5 – 3,7) v. Pada data sheet HPL LED 1w 3,3v dijelaskan bahwa HPL LED memiliki forward voltage sebesar 3,3v yang menyebabkan tegangan yang melewati HPL LED akan di batasi maksimal 3,3v. Untuk percobaan pada bahan dasar kardus dengan jalur sirkuit 5cm, dari 15 data yang diambil 11 memiliki nilai dibawah 3,3v yang disebabkan oleh rugi-rugi tegangan yang dihasilkan oleh jalur sikuit. Pada duplex, 14 dari 15 data yang diambil dari pengukuran menghasilkan tegangan dibawah 3,3v. Hal tersebut juga dikarenakan oleh rugi-rugi tegangan yang di hasilkan oleh jalur sirkuit. Rugi – rugi tegangan tersebut dikarenakan oleh bahan kardus dan duplex memiliki daya serap yang tinggi, selain hal tersebut rugi – rugi tegangan juga bisa disebabkan oleh beberapa faktor seperti panjang jalur sirkuit, tebal jalur sirkuit, jarak antara satu sirkuit dengan sirkuit lain, tahanan jenis penghantar, dan besar arus. Untuk PVC hasil tegangan yang diukur melebihi 3,3v dikarenakan daya serap PVC sangat kecil bahkan hampir tidak ada daya serap untuk beberapa jenis PVC, sehingga jalur sirkuit yang dibuat tidak memiliki rugi – rugi tegangan. Pada tabel I di tampilkan data nilai tegangan output yang telah di rata – rata. Pengambilan data di lakukan sebanyak 30 pengulangan.

TABEL I  
HASIL PENGUJIAN TEGANGAN OUTPUT

Bahan		Dengan Beban					
Board	Panjang	Kondisi A		Kondisi B		Kondisi C	
		Vin	Vout	Vin	Vout	Vin	Vout
Kardus	5 cm	5	2,86	9	3,15	12	3,49
Duplex	5 cm	5	2,80	9	3,16	12	3,33
PVC	5 cm	5	3,57	9	5,11	12	5,04
Kardus	10 cm	5	2,97	9	3,14	12	3,17
Duplex	10 cm	5	2,76	9	2,93	12	3,07
PVC	10 cm	5	3,54	9	0,00	12	0,00

Tegangan yang hilang tersebut masih memiliki nilai dibawah 1 Volt. Sehingga, hal ini dapat dipastikan bahwa tegangan yang hilang tersebut berasal dari tegangan bocor yang terjadi pada saat dilakukannya pengukuran tegangan menggunakan Voltmeter digital. Data *voltage loss* dapat dilihat pada table II.

TABEL II  
HASIL PENGUJIAN VOLTAGE LOSS

	5 cm					
	5 V		9V		12 V	
	x	$\Delta x$	x	$\Delta x$	x	$\Delta x$
Duplex	0.336	0.363	0.64	0.694	0.3	0.253
PVC	0.554	0.671	0.268	0.17	0	0
Kardus	0.584	0.99	1.76	1.578	0.322	0.39

	10 cm					
	5 V		9V		12 V	
	x	Δx	x	Δx	x	Δx
Duplex	0.106	0.39	0.19	0.02	0.352	0.26
PVC	0.124	0.713	0.32	0.236	0	0
Kardus	0.068	1.024	0.26	0.238	0.386	0.406

Pengujian arus dan suhu dilakukan dengan menggunakan beban HPL LED 1w 3,3v yang dapat menerima arus maksimal sebesar 350 mA (0,35 A). Pada kardus dan duplex, nilai arus yang didapatkan dari pengukuran bisa dikatakan “aman” digunakan karena nilai arus yang dihasilkan oleh jalur sirkuit kecil. Untuk bahan dasar PVC nilai arus melebihi 350mA karena bahan PVC memiliki daya resap yang sangat kecil dan permukaan yang licin sehingga jalur sirkuit memiliki resistansi sangat kecil. Hal tersebut sangat berpengaruh karena semakin besar resistansi yang dimiliki jalur maka semakin kecil nilai arus yang dihasilkan. Pengaruh lain yang menyebabkan arus yang diukur menjadi melebihi 350 mA adalah HPL LED yang overheat dan led menjadi putus (mati).

TABEL III  
HASIL PENGUJIAN ARUS DAN SUHU

Bahan		Vin = 5v		Vin = 9v		Vin = 12v	
Board	Panjang	T (°C)	I (mA)	T (°C)	I (mA)	T (°C)	I (mA)
		Kardus	5 cm	32,70	5,84	35,17	14,50
Duplex	5 cm	32,66	15,01	35,09	47,71	38,15	77,67
PVC	5 cm	32,48	135,09	36,33	342,67	42,13	454,00
Kardus	10 cm	30,59	17,75	31,31	50,71	34,45	90,98
Duplex	10 cm	30,55	6,94	30,76	18,32	31,21	30,02

Bahan		Vin = 5v		Vin = 9v		Vin = 12v	
Board	Panjang	T (°C)	I (mA)	T (°C)	I (mA)	T (°C)	I (mA)
		PVC	10 cm	30,61	139,38	33,23	343,04

Pengujian dilakukan dengan cara mengukur resistansi jalur dari ujung masing – masing jalur. Hal tersebut diakibatkan jumlah carbon yang keluar pada *conductive ink* tidak dapat diatur dalam penggambaran. Untuk dapat memudahkan dalam melihat fenomena tersebut pada Gambar ditunjukkan perubahan resistansinya dalam bentuk grafik.

TABEL IV  
HASIL PENGUJIAN RESISTANSI JALUR

5 cm			10 cm		
Kardus (Ω)	PVC (Ω)	Duplex (Ω)	Kardus (Ω)	PVC (Ω)	Duplex (Ω)
32,00	5,75	45,48	31,30	15,90	41,10

$$R = \rho / A$$

Pengujian resistansi yang berasal dari PCB konvensional yakni PCB yang jalurnya berbahan dasar tembaga. Karena keterbatasan alat ukur dalam mengukur hambatan pada jalur sehingga metoda pendekatan untuk mengetahui nilai resistansi pada jalur tembaga dilakukan dengan menggunakan perhitungan secara matematis.

Sehingga, untuk bahan tembaga 5 cm (panjang) dan 0,5 cm (lebar)

$$R = ((1,68 \times 10^{-8}) \times (0,05)) / ((35 \times 10^{-6}) \times 0,005) = 4,8 \times 10^{-3} \Omega$$

Dan untuk bahan tembaga 10 cm (panjang) dan 0,5 (lebar)

$$R = ((1,68 \times 10^{-10}) \times (0,1)) / ((35 \times 10^{-6}) \times 0,005) = 9,6 \times 10^{-3} \Omega$$

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari penelitian melalui lima pengujian performa PCB ramah lingkungan, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan mengenai penelitian ini.

### 5.1. Aspek Karakteristik PCB Ramah Lingkungan

Bahan dasar yang digunakan sebagai board PCB ramah lingkungan yakni kardus, duplex dan PVC secara umum memberikan performa yang baik, akan tetapi board yang berbahan dasar PVC dapat memberikan koefisien

konduktivitas yang jauh lebih baik dibandingkan dengan 2 bahan lainnya.

Hal tersebut dapat di lihat bahwasanya parameter resistansi yang diukur dari ketiga bahan tersebut masih sesuai dengan perhitungan secara manual. Yaitu untuk jalur dengan panjang 5cm dan 10 cm masing-masing memiliki range resistansi (8,57 - 171,4)  $\Omega$  dan range resistansi (17,4 - 342,5)  $\Omega$ . Penggunaan bahan dasar PVC untuk PCB memiliki kelebihan, yaitu dapat menyerap panas pada jalur sehingga tegangan dapat tersampaikan ke beban. PVC memiliki sifat lentur yang bagus, PCB yang dibuat pada PVC akan dapat di bengkokan dan tidak berpengaruh pada jalur yang terdapat pada PVC.

Menggunakan HPL LED dengan daya sebesar 1 W sebagai beban, maka didapatkan parameter tegangan dan arus pada masing bahan sebagai berikut. Untuk bahan kardus dan duplex didapatkan bahwa tegangan dan arus yang menjalar memiliki nilai yang sama yakni dalam range 12V dan 1A. Sedangkan pada bahan dasar PVC tegangan dan arus yang terukur sebesar 9V dan 0.5A.

### 5.2. Rugi-rugi Tegangan yang ada pada jalur *Conductive ink*

Pada saat dilakukan pengukuran tegangan pada rangkaian tertutup menggunakan jalur PCB ramah lingkungan ditemukan adanya tegangan yang hilang. Setelah dilakukan pengujian *voltage loss* didapatkan bahwa rata-rata tegangan yang hilang berada dibawah nilai 1 V. Sehingga, mengambil kesimpulan bahwa, tegangan yang hilang tersebut berasal dari efek pembebanan yang dimiliki oleh alat ukur. Semenjak nilai dari hambatan dalam voltmeter tidak di ketahui, maka kemungkinan beberapa kali pengukuran tegangan yang dilakukan dapat terjadi tegangan yang hilang yang diakibatkan oleh adanya efek pembebanan dari hambatan dalam yang ada pada voltmeter itu sendiri. Penggunaan bahan dasar carbon pada *conductive ink* juga berpengaruh dalam *voltage loss*, dimana karbon memiliki nilai yang hambatan jenis yang besar sebagai sebuah konduktor.

### 5.3. Pengaruh suhu pada PCB Ramah Lingkungan

Suhu mempengaruhi nilai resistansi yang dimiliki jalur PCB Ramah Lingkungan, hal ini disebabkan oleh karakteristik bahannya yang berasal dari unsur karbon. Sehingga, secara kurva nilai resistansi pada jalur akan berbanding lurus pada kenaikan suhunya.

### 5.4. Aspek Implementasi Papan PCB

Dalam implementasi board berbahan dasar kardus, duplex dan PVC dapat dimanfaatkan untuk pembuatan rangkaian sederhana seperti flipflop. Berdasarkan pengujian system flipflop yang dilakukan selama satu minggu tanpa henti didapati bahwa komponen tidak mengalami kerusakan yang diakibatkan oleh ketidakstabilan jalur.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] admin. (2020, - -). *Bandar Kardus*. Retrieved from <https://www.bandarkardus.com/jenis-dan-bahan-kardus>
- [2] admin. (2020, - -). *Teknik Elektronika Website*. Retrieved from <https://teknikelektronika.com/pengertian-pcb-printed-circuit-board-jenis-jenis-pcb/>
- [3] admin, a. (n.d.). *Buddy Paint Conductive Ink*. Retrieved from [aliexpress.com: www.aliexpress.com/item/1953388602](http://www.aliexpress.com/item/1953388602)
- [4] Albin, Rames, D., Dietel, J. C., Lenfert, C., & al, K. e. (2001). Development of a new, more efficient and environmentally friendly. *Circuit World*, 27.
- [5] Anonymous. (2016). Particle-Free Conductive Inks for Better Printed Electronics. *Chemical Engineering Progress*, 4.
- [6] Elektronika, A. T. (n.d.). *Pengertian pcb printed circuit board jenis jenis pcb*. Retrieved from [teknikelektronika.com](http://teknikelektronika.com)
- [7] Jewell, E. H., Hamblyn, S. M., Claypole, T. C., & Gethin, D. T. (2013). The impact of carbon content and mesh on the characteristic of screen printed conductive structure. *College of Engineering*.
- [8] Kardus, B. (n.d.). *jenis dan bahan kardus*. Retrieved from [bandarkardus.com: bandarkardus.com/jenis-dan-bahan-kardus/](http://bandarkardus.com/jenis-dan-bahan-kardus/)
- [9] Lamprecht, S., Heinz, G., Patton, N., Kenny, S., & Brooks, P. (2008). Green PCB Production. *Atotech Deutschland GmbH*.
- [10] Lewis, H. J., & Ryan, A. (2010). Printing as an Alternative Manufacturing Process for Printed Circuit Boards. *University of Limerick Ireland*.
- [11] packaging, A. (n.d.). *jenis kertas packaging*. Retrieved from [alexandriapackaging.com: http://alexandriapackaging.blogspot.com/2015/05/jenis-kertas-packaging.html](http://alexandriapackaging.com: http://alexandriapackaging.blogspot.com/2015/05/jenis-kertas-packaging.html)
- [12] trading, A. i. (n.d.). *plat pvc bening*. Retrieved from [indotrading.com: www.indotrading.com/product/plat-pvc-bening-p651548.aspx](http://www.indotrading.com/product/plat-pvc-bening-p651548.aspx)