Rancang Bangun Sistem Alat Praktikum MOSFET di Laboratorium Elektronika Daya

Novan Enardo Wijanarko[1], Sunu Pradana[2], Erry Yadie[3]
[1,2,3] Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Samarinda
sunupradana@polnes.ac.id

***Abstrak*- *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* (MOSFET) merupakan salah satu bahasan pada mata kuliah elektronika daya yang digunakan sebagai sakelar. Untuk menunjang proses pembelajaran maka diperlukan suatu alat praktikum. Alat praktikum komersial yang sudah ada memiliki sistem yang cukup kompleks dan alat praktikum penyakelaran elektronik yang telah dirancang di penelitian sebelumnya masih terdapat masalah. Dengan demikian perlu dilakukan penelitian untuk rancang bangun alat praktikum yang lebih sederhana dan mudah dalam melakukan perbaikan. MOSFET yang difungsikan sebagai sakelar elektronik sebagaimana dalam penelitian ini dirancang untuk hanya bekerja di dua wilayah mode operasi, yaitu *cut off* dan *ohmic*. Alat praktikum yang dirancang mempergunakan pengendali Arduino Mega dan menggunakan metode *Pulse Width Modulation* (PWM) untuk pengontrolan tegangan pemicuan gate MOSFET. Dari hasil pengujian dengan sistem keseluruhan pada N-MOSFET dan P-MOSFET saat *cut off*, nilai tegangan dan arus beban bernilai 0. Sedangkan saat *ohmic* dengan beban resistor 20 Ω, untuk N-MOSFET tegangan beban 11,39 V dan arus 0,577 A, sedangkan untuk P-MOSFET tegangan beban 11,12 V dan arus 0,563 A. Pada beban resistor 100 Ω dan induktor 51,5 mH, untuk N-MOSFET tegangan beban 11,97 V dan arus 0,123 A, sedangkan P-MOSFET tegangan beban 11,83 V dan arus 0,122 A. Masalah pada alat praktikum yang telah dihasilkan pada penelitian terdahulu adalah waktu eksekusi program. Waktu eksekusi sebelum dilakukan perbaikan program sebesar 95-97 ms. Di penelitian ini, setelah dilakukan perbaikan program waktu eksekusi menjadi sebesar 58-60 ms.**

Kata kunci: MOSFET, elektronika daya, Arduino Mega, PWM.

I. PENDAHULUAN

Pendidikan tinggi vokasi merupakan pendidikan tinggi yang memberikan kemampuan aplikatif dan inovatif. Ciri pendidikan tinggi vokasi adalah mengutamakan penerapan aspek-aspek praktis yang didukung oleh teori yang tepat. Model pembelajaran di pendidikan tinggi vokasi antara lain adalah *Project Based Learning* (PjBL) dan *Problem Based Learning* (PBL). Model pembelajaran PjBL merupakan pembelajaran yang ditujukan pada mahasiswa dalam pengerjaan tugas yang telah dirancang secara sistematis. Model pembelajaran PBL merupakan suatu model pembelajaran yang menantang mahasiswa untuk menyelesaikan masalah-masalah yang terjadi dengan bantuan informasi yang diperoleh. Inti dari kedua model pembelajaran tersebut adalah agar mahasiswa mandiri dalam proses pembelajaran, serta mampu dalam menyelesaikan masalah sesuai dengan jenjang kualifikasi level 5 dan level 6 [1].

Mata kuliah Elektronika Daya merupakan salah satu mata kuliah yang menerapkan dua metode pembelajaran tersebut. Dalam mata kuliah Elektronika Daya, salah satu pembahasannya adalah tentang penggunaan *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor* (MOSFET) sebagai sakelar. MOSFET digunakan sebagai penyakelaran beban dengan menggunakan pengontrolan tegangan pada terminal *gate* MOSFET. Pengaturan pengontrolan tegangan *gate* dengan menggunakan pengaturan nilai *output Pulse Width Modulation* (PWM). Salah satu fasilitas untuk menerapkan pembelajaran MOSFET sebagai sakelar adalah laboratorium, di laboratorium mahasiswa dapat mempraktikkan secara langsung teori yang sudah dipelajari. Untuk menunjang kegiatan praktikum maka diperlukan suatu alat praktikum.

Alat praktikum komersial yang sekarang terdapat di laboratorium elektronika daya memiliki sistem yang cukup kompleks, sehingga jika terjadi kerusakan maka akan sulit dalam melakukan perbaikan serta sulit menemukan komponen penggantinya. Berdasarkan permasalahan tersebut maka dilakukan perancangan alat praktikum yang lebih sederhana dan mudah dalam melakukan perbaikan jika terjadi kerusakan.

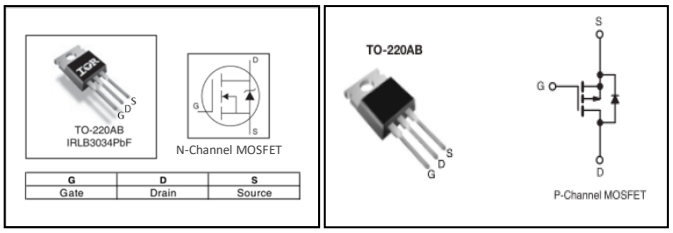
Di laboratorium elektronika daya telah dirancang alat praktikum penyakelaran elektronik dengan menggunakan komponen *Bipolar Junction Transistor* (BJT) dan *Insulated Gate Bipolar Transistor* (IGBT). Alat praktikum yang telah dirancang memiliki masalah pada pengaturan *duty cycle* dan frekuensi. Untuk melengkapi alat praktikum penyakelaran elektronik serta mengatasi masalah tersebut maka dilakukan perancangan alat praktikum penyakelaran elektronik dengan menggunakan MOSFET.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. *Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor (MOSFET)*

MOSFET merupakan sebuah komponen transistor dari bahan semikonduktor yang memiliki tiga kaki terminal yaitu *Gate* (G), *Drain* (D) dan *Source* (S). Terminal *gate* berfungsi sebagai elemen pengontrol pada MOSFET. *Enhancement mode* MOSFET memiliki dua jenis yaitu N-MOSFET dan P-MOSFET [2], [3]. Bentuk fisik dan simbol MOSFET dapat dilihat pada Gambar 1.

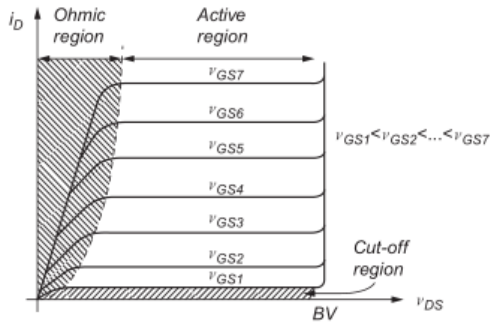
Submitted: 20/05/2021; Revised: 02/06/2021;
Accepted: 16/12/2021; Online first: 20/12/2021
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v2i2.711



(a) (b)

Gambar 1. Bentuk fisik dan simbol, (a) N-MOSFET IRLB3034PbF, (b) P-MOSFET IRF9540PbF [4], [5]

MOSFET memiliki tiga wilayah operasi, yaitu *cut off*, *ohmic/triode*, dan aktif/*saturation*. Ketiga wilayah tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Wilayah operasi MOSFET [6]

Apa yang terjadi pada ketiga wilayah tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut:

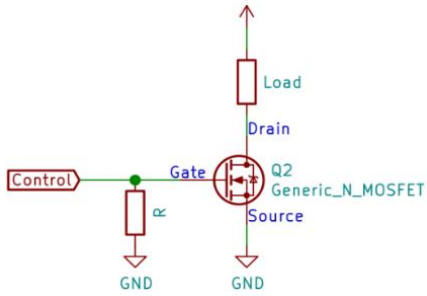
1. Wilayah *cut off* adalah wilayah MOSFET di mana tegangan *gate* (V_{GS}) = 0. Pada keadaan ini, tegangan V_{DS} bernilai maksimum sedangkan nilai I_{DS} = 0. Ketika $V_{GS} > 0$ tetapi $V_{GS} < V_{GS(th)}$, maka MOSFET tetap dalam keadaan *cut off* [6].

2. Wilayah *ohmic/triode* adalah wilayah MOSFET beroperasi ketika $V_{DS} < V_{GS} - V_{TH}$ dan $V_{GS} < V_{TH}$. Wilayah *ohmic* juga dikenal sebagai wilayah resistansi konstan, di mana resistansi seperti itu disebut ($R_{DS(on)}$) [6].

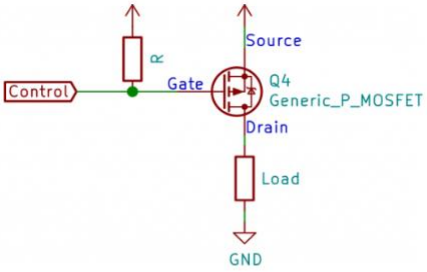
3. Wilayah aktif/*saturation* adalah wilayah MOSFET yang memiliki karakteristik arus *drain* yang konstan, yang dikendalikan oleh tegangan *gate*. MOSFET bekerja di wilayah saturasi ketika $V_{DS} > V_{GS} - V_{TH}$ dan $V_{GS} < V_{TH}$ [6].

Daerah atau wilayah operasi MOSFET yang digunakan sebagai penyakelaran adalah *cut-off* dan *ohmic*. Keadaan *cut off* adalah keadaan di mana MOSFET seperti sakelar terbuka yaitu nilai tegangan *gate* (V_{GS}) < $V_{GS(th)}$ dan I_D = 0. Sedangkan keadaan *ohmic* adalah keadaan di mana MOSFET seperti sakelar tertutup yaitu nilai tegangan *gate* (V_{GS}) > $V_{GS(th)}$ dan I_D bernilai maksimum [6].

Penyakelaran pada MOSFET memiliki dua konfigurasi yaitu *low side switching* dan *high side switching*. *Low side switching* menggunakan N-*channel* MOSFET, sedangkan *high side switching* menggunakan P-*channel* MOSFET. Mode penyakelaran pada MOSFET dapat dilihat pada Gambar 3.



(a)



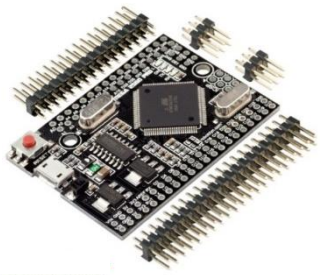
(b)

Gambar 3. Mode penyakelaran MOSFET, (a) *Low side switching*, (b) *High side switching* [7]

Rangkaian disebut *low side switching* ketika MOSFET berada pada sisi *low* dari beban yaitu saat terminal *source* terhubung ke *ground* dan terminal *drain* terhubung ke sisi negatif dari beban. Rangkaian disebut *high side switching* MOSFET terhubung antara +V dan beban, untuk P- MOSFET, kaki *source* terhubung ke sumber tegangan dan kaki *drain* terhubung ke sisi positif beban [7].

B. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 merupakan papan mikrokontroler yang memiliki 54 pin digital I/O (15 pin dapat digunakan sebagai PWM *output*), 16 pin analog *input*, USB *connection*, ICSP *header*, dan sebuah tombol *reset* [8]. Bentuk fisik Arduino Mega 2560 Pro dapat dilihat pada Gambar 4.



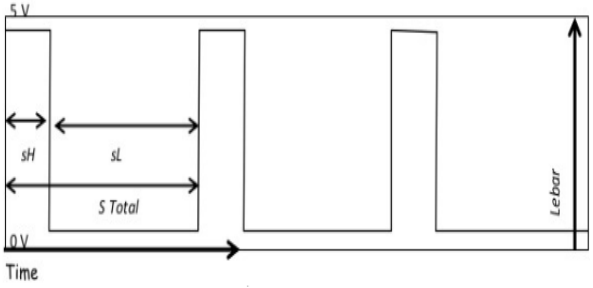
Gambar 4. Bentuk fisik Arduino Mega 2560 Pro [9]

Arduino Mega 2560 Pro dapat beroperasi dengan menggunakan USB *connection* atau suplai eksternal. Pin yang digunakan sebagai pin tegangan *input* ke papan Arduino ketika menggunakan tegangan suplai eksternal adalah pin Vin.

Submitted: 20/05/2021; Revised: 02/06/2021;
Accepted: 16/12/2021; Online first: 20/12/2021
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v2i2.711

C. *Pulse Width Modulation (PWM)*

PWM adalah suatu teknik memanipulasi lebar sinyal atau tegangan yang dinyatakan dalam suatu periode. Sinyal PWM merupakan sinyal digital yang *amplitude* tetap tetapi mempunyai lebar pulsa *HIGH* dan *LOW* yang berbeda-beda dalam satu periode. Dalam PWM dikenal istilah *duty cycle*, yaitu lebar pulsa atau sinyal *HIGH* dalam satu periode. Satu periode adalah hasil penjumlahan antara sinyal *HIGH* dan sinyal *LOW* [10]. Lebar pulsa PWM terlihat seperti pada Gambar 5.

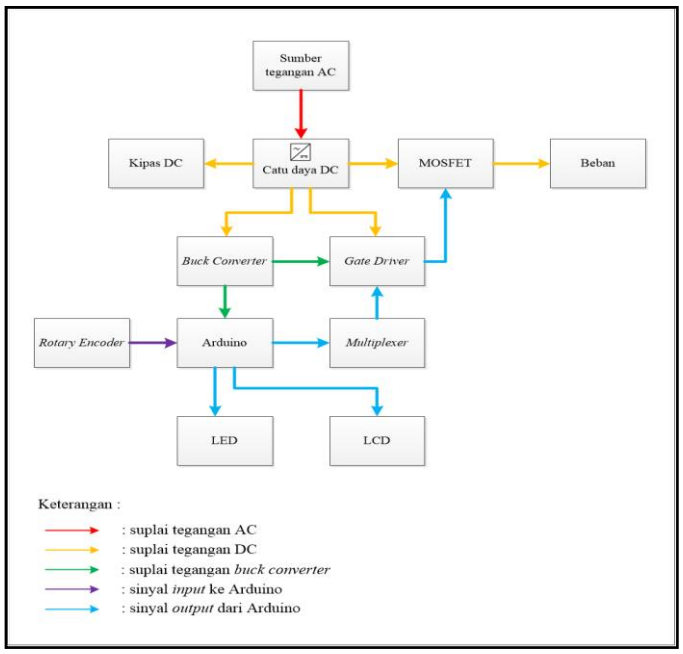


Gambar 5. Lebar pulsa PWM [10]

III. METODE PERANCANGAN

A. *Gambaran Umum Sistem*

Gambaran umum sistem merupakan gambaran secara garis besar suatu sistem yang akan dirancang. Gambaran umum digunakan untuk menunjukkan alur kerja suatu sistem serta memudahkan dalam perancangan peralatan. Gambaran umum sistem dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Gambaran umum sistem

B. *Pemilihan Komponen Penyakelaran MOSFET*

Pemilihan komponen penyakelaran bertujuan untuk menentukan komponen yang dianggap tepat atau sesuai dengan perancangan yang akan dilakukan. Pemilihan komponen dilakukan dengan cara membaca *datasheet*, harga dan ketersediaan komponen di Indonesia.

1). Pemilihan MOSFET

Dalam merancang alat praktikum MOSFET, yang digunakan sebagai komponen utama penyakelaran adalah MOSFET IRLB3034 dan MOSFET IRF9540.

Berdasarkan *datasheet*, MOSFET IRLB3034 memiliki nilai $R_{DS(on)}$ sebesar 1,4 mΩ yang berarti bahwa nilai resistansi saat MOSFET dalam keadaan "*on*" bernilai kecil. Nilai tegangan ambang batas atau *treshold voltage* pada *gate* sebesar 1-2,5 V. Nilai arus *drain* maksimum yang dapat mengalir sebesar 195 A. Ketersediaan komponen di pasar lokal untuk MOSFET IRLB3034 cukup mudah didapatkan di toko-toko *online* dan memiliki harga yang masih terjangkau.

Berdasarkan *datasheet* MOSFET IRF9540 nilai $R_{DS(on)}$ sebesar 0,2 Ω. MOSFET IRF9540 memiliki tegangan ambang batas atau *treshold voltage* sebesar -2 V sampai -4 V. Arus *drain* maksimum yang dapat mengalir adalah sebesar -19 A. Ketersediaan komponen di pasar lokal untuk MOSFET IRF9540 yaitu cukup mudah didapatkan di toko-toko *online* dan memiliki harga yang masih terjangkau.

2). Pemilihan *Gate Driver*

Hal yang mendasari penggunaan *gate driver* adalah kemampuan penyakelaran pada frekuensi yang lebih tinggi. Pada perancangan alat praktikum MOSFET, yang digunakan sebagai *driver* MOSFET adalah *gate driver* IR2110. Berdasarkan *datasheet*, *gate driver* memiliki *logic input voltage* yang sesuai atau mendukung dengan *logic level voltage* yaitu sebesar 3,3-20 V [11]. Memiliki tegangan *range* VCC sebesar 10-20 V yang mana sesuai dengan sistem akan dirancang.

C. *Perancangan Sistem Catu Daya*

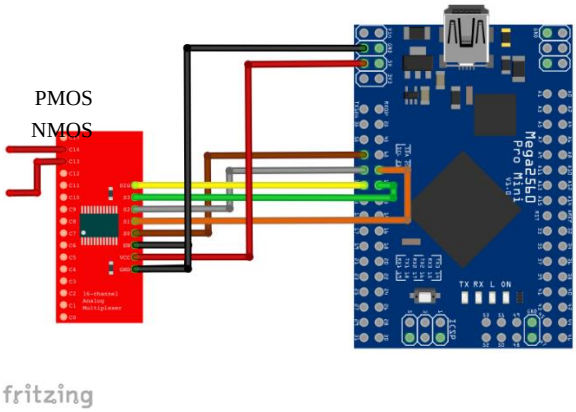
Perancangan sistem catu daya dirancang untuk memberikan tegangan suplai kepada tiap-tiap komponen. Sistem penyakelaran dengan menggunakan MOSFET memiliki tegangan suplai sebesar 12 V_{DC} dan 6 V_{DC}. Catu daya 12 V_{DC} menggunakan SMPS dengan tegangan *output* sebesar 12 V_{DC} dan arus sebesar 10 A sebagai sumber tegangan V_{DD} pada modul MOSFET, kipas, dan tegangan *input buck converter*. Sedangkan 6 V_{DC} menggunakan *buck converter* XL-4005 5A DC-DC *adjustable step down*, *input*: 4-35 V dan *output* : 1,25-32 V sebagai tegangan *input logic supply voltage* ke *gate driver* dan tegangan suplai ke papan Arduino.

D. *Perancangan Rangkaian Multiplexer*

Perancangan rangkaian *multiplexer* digunakan sebagai jembatan dari *output* PWM Arduino ke *gate driver* dan sebagai sakelar pemilih untuk mengaktifkan penyakelaran yang akan digunakan. Perancangan sistem penyakelaran elektronik MOSFET menggunakan *multiplexer* CD74HC4067 yang memiliki 16 *channel* analog/digital. Penyakelaran MOSFET menggunakan dua *channel* yaitu *channel* 13 untuk

Submitted: 20/05/2021; Revised: 02/06/2021;
Accepted: 16/12/2021; Online first: 20/12/2021
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v2i2.711

penyakelaran NMOS dan *channel* 14 untuk penyakelaran PMOS. Rangkaian *multiplexer* terlihat seperti pada Gambar 7.



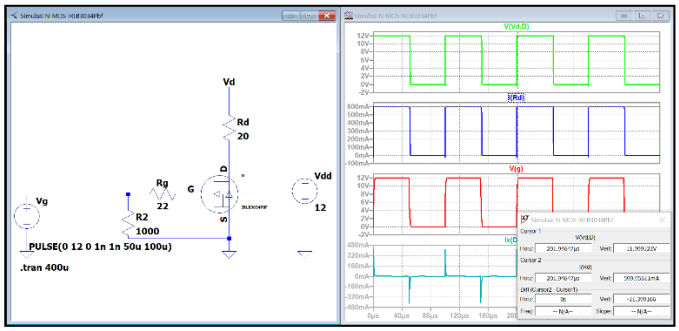
Gambar 7. Rangkaian *multiplexer*

E. Perancangan Modul MOSFET sebagai Sakelar

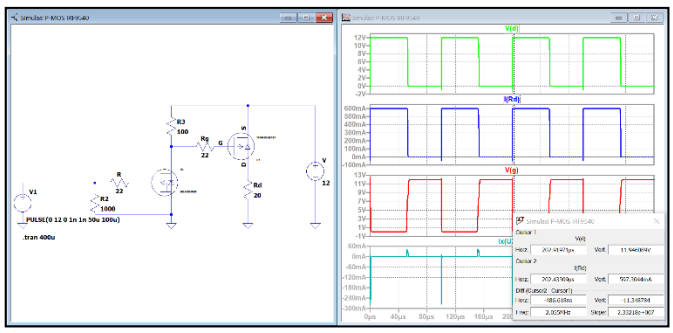
Proses perancangan modul praktikum penggunaan MOSFET sebagai sakelar terdapat langkah-langkah yang harus dilakukan secara berurutan untuk mendapatkan sistem yang sesuai. Proses dimulai dari perhitungan awal seperti menghitung nilai daya pada beban untuk menentukan rating daya pada beban yang akan digunakan.

Setelah dilakukan perhitungan maka selanjutnya adalah melakukan simulasi dengan menggunakan *software* LTSpice untuk meminimalisir kesalahan dan mempermudah dalam perancangan *hardware* sistem penyakelaran MOSFET.

1). Rangkaian MOSFET dengan beban resistor 20 Ω



(a)

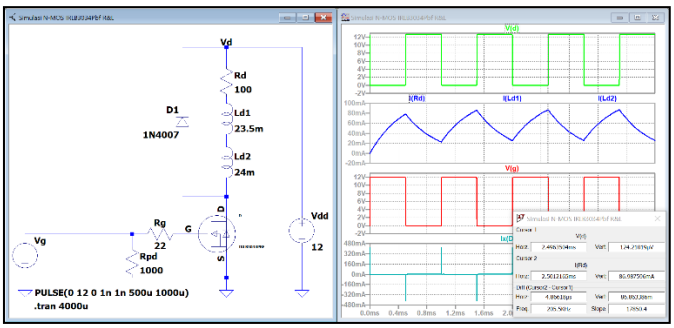


(b)

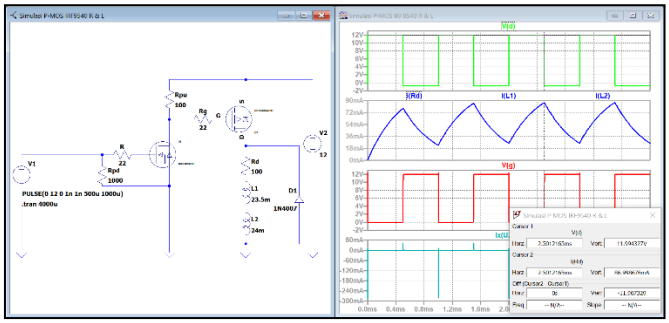
Gambar 8. Simulasi LTSpice dengan beban resistor 20 Ω, (a) Rangkaian MOSFET IRLB3034, (b) Rangkaian MOSFET IRF9540

Simulasi dengan menggunakan LTSpice untuk beban resistor 20 Ω, terlihat pada Gambar 8 (a) penyakelaran dengan menggunakan N-MOSFET IRLB3034 memerlukan tegangan *gate* positif agar penyakelaran aktif. Tegangan pada beban sebesar 11,99 V dan arus *drain* sebesar 0,599 A. Sedangkan pada Gambar 8 (b) untuk penyakelaran P-MOSFET IRF9540 memerlukan N-MOSFET sebagai sakelar pada *gate*, karena P-MOSFET memerlukan tegangan *gate* bernilai negatif atau keadaan *low* (terhubung ke *ground*) untuk dapat diaktifkan. Tegangan pada beban sebesar 11,94 V dan arus *drain* sebesar 0,597 A.

2). Rangkaian MOSFET dengan beban resistor 100 Ω dan induktor 51,5 mH



(a)



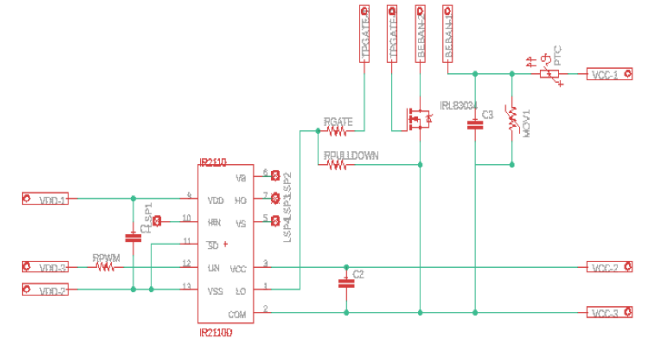
(b)

Gambar 9. Simulasi LTSpice dengan beban resistor 100 Ω dan induktor 51,5 mH, (a) Rangkaian MOSFET IRLB3034, (b) Rangkaian MOSFET IRF9540

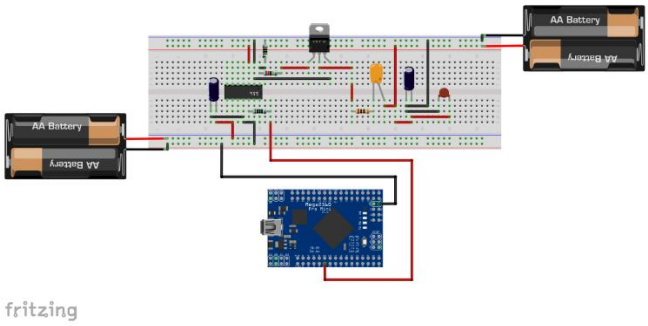
Pada simulasi rangkaian LTSpice di atas, Gambar 9 (a) merupakan simulasi N-MOSFET IRLB3034 dengan beban resistor dan induktor, sedangkan Gambar 9 (b) merupakan simulasi P-MOSFET IRF9540 dengan beban resistor dan induktor. Kedua penyakelaran tersebut memperlihatkan karakteristik dari arus pada beban yaitu nilai arus akan terus meningkat, berbanding lurus dengan nilai tegangan. Sifat induktor adalah melawan perubahan arus dan menyimpan energi dalam bentuk medan magnet. Hal tersebut yang mengakibatkan nilai arus pada beban tidak kembali ke nol.

Selanjutnya dilakukan perancangan sistem penyakelaran MOSFET untuk pengujian rangkaian penyakelaran MOSFET. Desain rangkaian dilakukan dengan menggunakan aplikasi Eagle dan aplikasi Fritzing. Desain *schematic* rangkaian dapat dilihat pada Gambar 10 (a) dan Gambar 11 (a).

Submitted: 20/05/2021; Revised: 02/06/2021;
Accepted: 16/12/2021; Online first: 20/12/2021
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v2i2.711

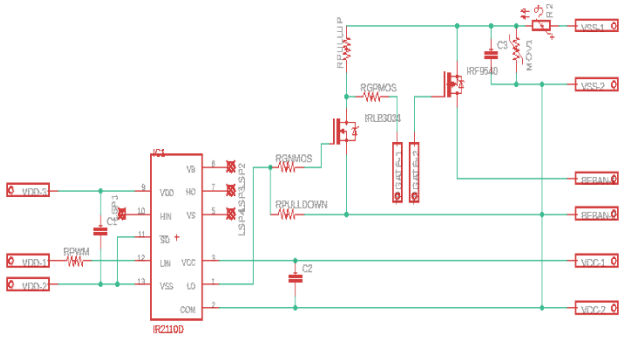


(a)

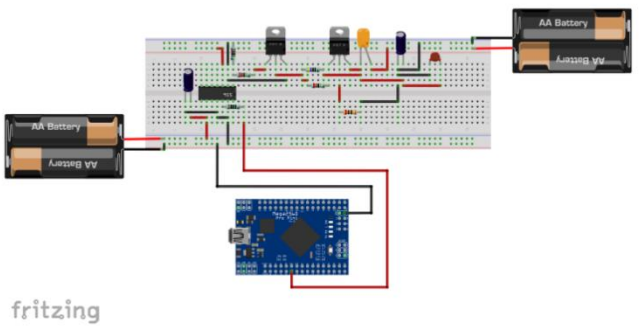


(b)

Gambar 10. Rangkaian sistem penyakelaran N-MOSFET, (a) *Schematic* rangkaian penyakelaran NMOS, (b) Rangkaian penyakelaran NMOS pada *breadboard*.



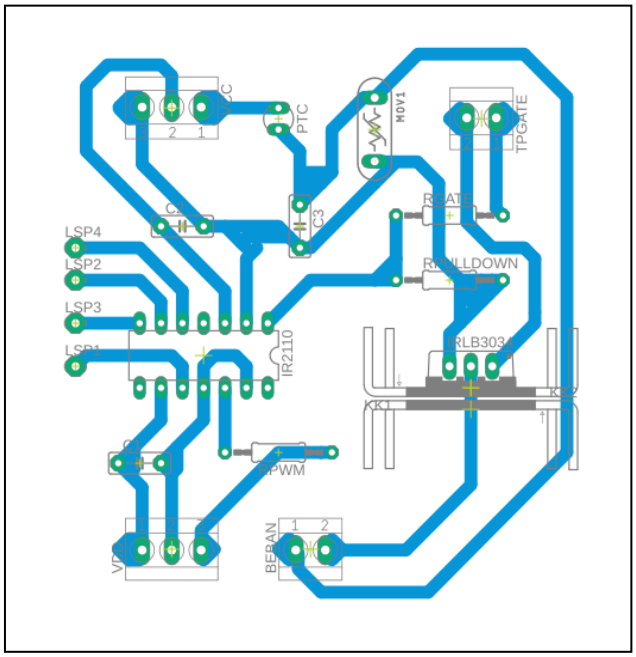
(a)



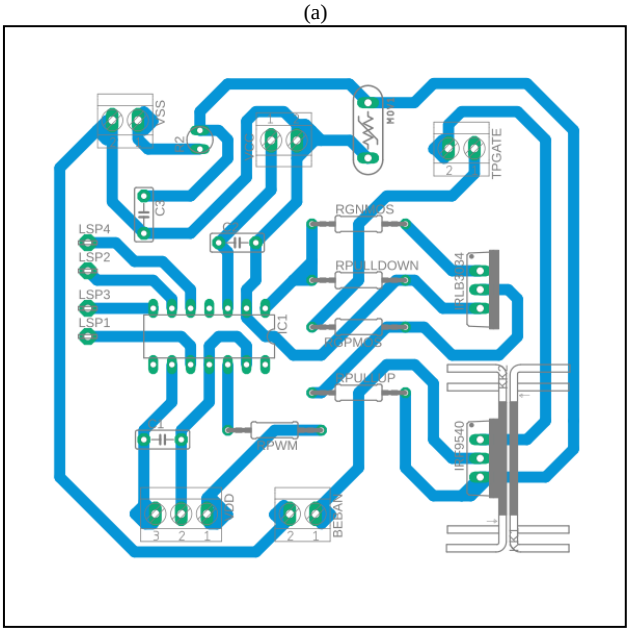
(b)

Gambar 11. Rangkaian sistem penyakelaran P-MOSFET, (a) *Schematic* rangkaian penyakelaran PMOS, (b) Rangkaian penyakelaran PMOS pada *breadboard*

Selanjutnya adalah perancangan jalur PCB dengan menggunakan aplikasi Autodesk Eagle. Aplikasi Eagle memiliki dua fasilitas utama yaitu desain *schematic* dan *board* PCB. Desain jalur PCB dapat dilihat pada Gambar 12.



(a)



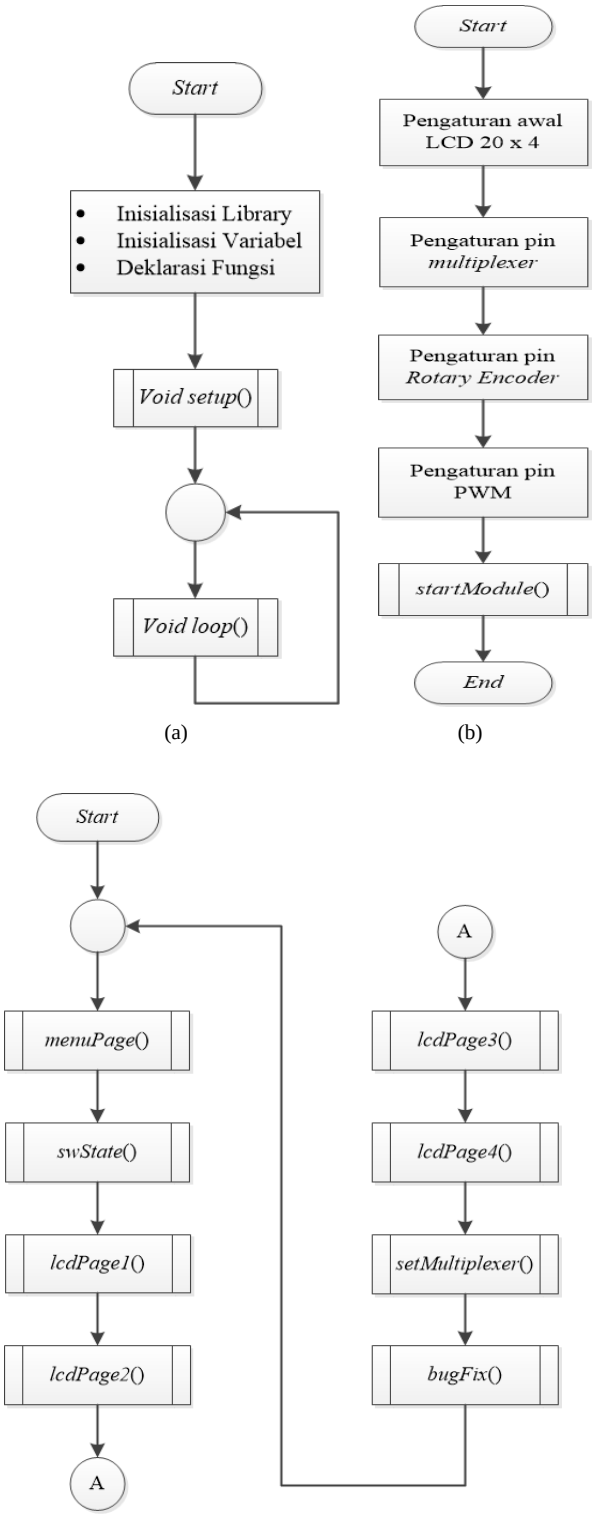
(b)

Gambar 12. Desain jalur PCB penyakelaran MOSFET, (a) Jalur PCB penyakelaran NMOS, (b) Jalur PCB penyakelaran PMOS

F. Diagram Alir Pemrograman

Perancangan sistem penyakelaran MOSFET selain merancang perangkat keras, juga melakukan perancangan perangkat lunak yaitu pemrograman Arduino. Diagram alir dari pemrograman Arduino terlihat pada Gambar 13.

Submitted: 20/05/2021; Revised: 02/06/2021;
Accepted: 16/12/2021; Online first: 20/12/2021
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v2i2.711

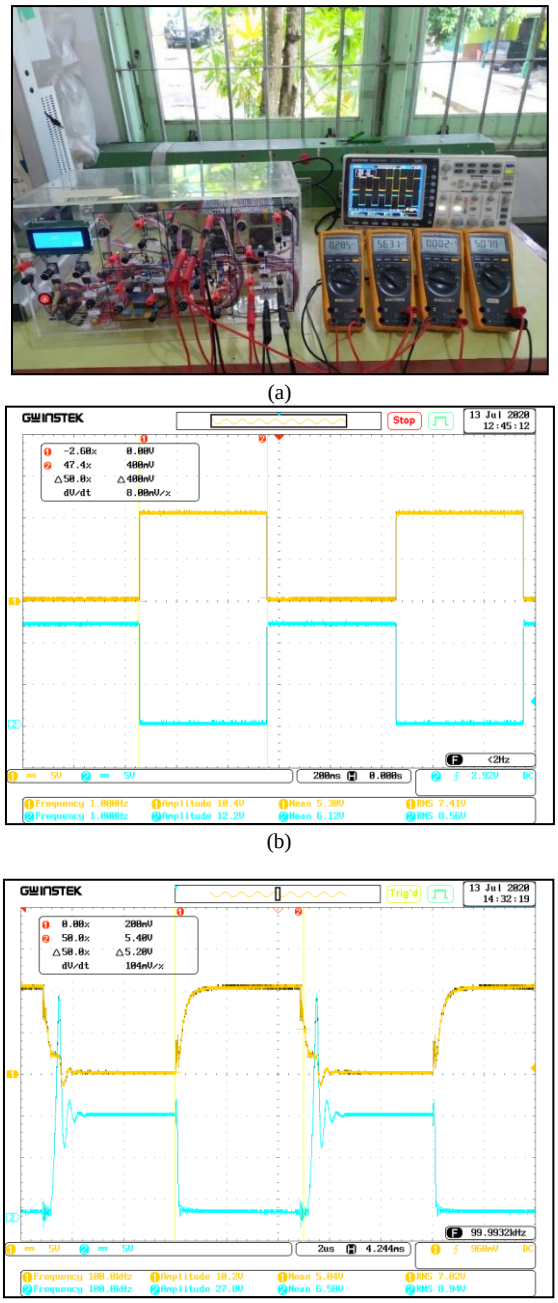


Gambar 13. Diagram alir pemrograman, (a) Diagram alir utama, (b) Diagram alir *void setup*(), (c) Diagram alir *void loop*()

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian MOSFET pada Percobaan I

Pengujian pada percobaan I menggunakan N-MOSFET dengan beban resistor 20 Ω. Pengujian dilakukan dengan mengatur besar nilai *duty cycle* dan nilai frekuensi. Pengujian bertujuan untuk melihat karakteristik dari penyakelaran N-MOSFET dengan beban resistor menggunakan osiloskop, dengan *test point channel* 1 pada *gate* MOSFET dan *channel* 2 pada *drain* MOSFET. Gambar 14 menunjukkan hasil pengujian pada percobaan I.



Gambar 14. Hasil pengujian MOSFET pada percobaan I dengan DTC 50%, (a) Rangkaian pengujian, (b) Pengujian dengan frekuensi 1 Hz, (c) Pengujian dengan frekuensi 100 kHz

Submitted: 20/05/2021; Revised: 02/06/2021;
Accepted: 16/12/2021; Online first: 20/12/2021
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v2i2.711

TABEL 1
HASIL PENGUJIAN MOSFET PADA PERCOBAAN I DENGAN FREKUENSI RENDAH

Freq	DTC	Beban		*Gate*	
(Hz)	(%)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)
1	0	0	0	0	0
	50	5,57	0,279	5,1	0,002
	100	11,39	0,577	10,26	0,002
50	0	0	0	0	0
	50	5,64	0,286	5,086	0,002
	100	11,39	0,577	10,26	0,002
100	0	0	0	0	0
	50	5,63	0,285	5,07	0,002
	100	11,39	0,577	10,26	0,002

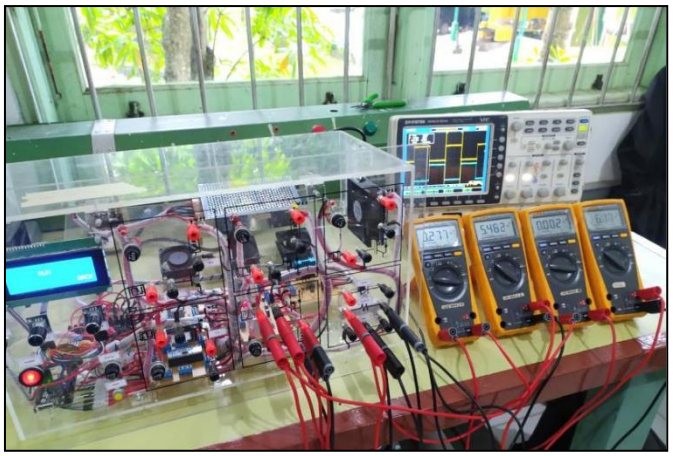
TABEL 2
HASIL PENGUJIAN MOSFET PADA PERCOBAAN I DENGAN FREKUENSI TINGGI

Freq	DTC	Beban		*Gate*	
(kHz)	(%)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)
1	0	0	0	0	0
	50	5,693	0,289	5,131	0,002
	100	11,39	0,576	10,27	0,002
50	0	0	0	0	0
	50	5,745	0,291	5,08	0,002
	100	11,39	0,577	10,26	0,002
100	0	0	0	0	0
	50	5,711	0,29	4,952	0,002
	100	11,38	0,576	10,26	0,002

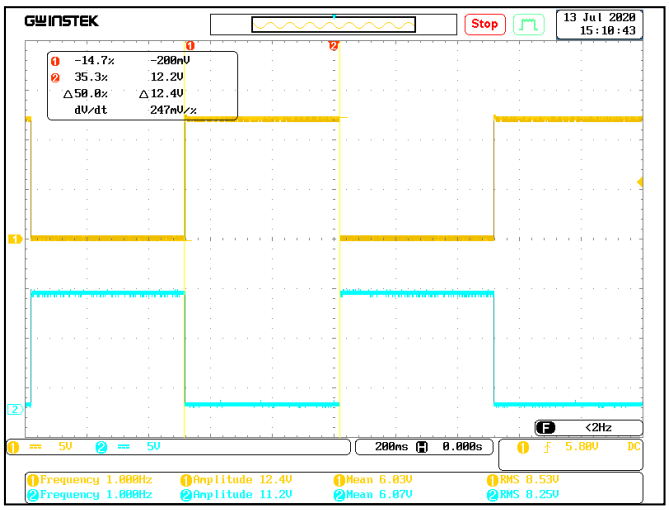
Dari hasil pengujian pada percobaan I terlihat bahwa bentuk karakteristik gelombang penyakelaran pada frekuensi 1 Hz, N-MOSFET mampu melakukan penyakelaran dengan sangat baik. Sedangkan pada saat penyakelaran N-MOSFET pada frekuensi 100 kHz, bentuk karakteristik gelombang penyakelaran terdapat *ringing* atau osilasi frekuensi tinggi. Dari hasil pengukuran terlihat bahwa tegangan *gate* berbanding lurus dengan tegangan pada beban.

B. Pengujian MOSFET pada Percobaan II

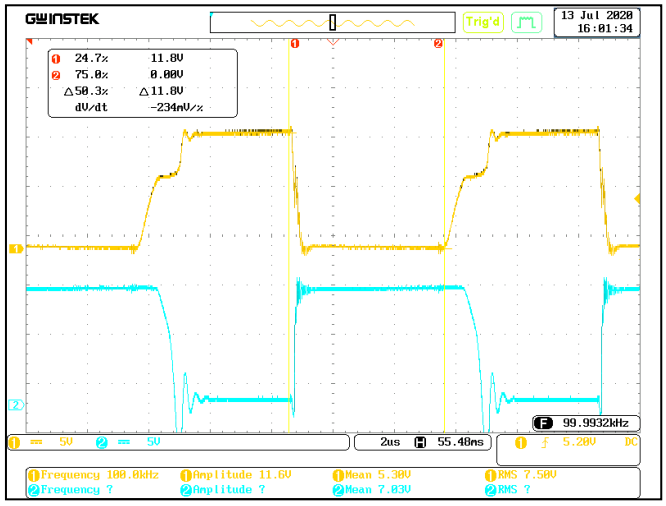
Pengujian pada percobaan II menggunakan P-MOSFET dengan beban resistor 20 Ω. Pengujian dilakukan dengan mengatur besar nilai *duty cycle* dan nilai frekuensi. Pengujian bertujuan untuk melihat karakteristik dari penyakelaran P-MOSFET dengan beban resistor menggunakan osiloskop, dengan *test point channel* 1 pada *gate* MOSFET dan *channel* 2 pada *drain* MOSFET. Gambar 15 menunjukkan hasil pengujian pada percobaan II.



(a)



(b)



(c)

Gambar 15. Hasil pengujian MOSFET pada percobaan II dengan DTC 50%, (a) Rangkaian pengujian, (b) Pengujian dengan frekuensi 1 Hz, (c) Pengujian dengan frekuensi 100 kHz

Submitted: 20/05/2021; Revised: 02/06/2021;
Accepted: 16/12/2021; Online first: 20/12/2021
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v2i2.711

TABEL 3
HASIL PENGUJIAN MOSFET PADA PERCOBAAN II DENGAN FREKUENSI RENDAH

Freq	DTC	Beban		*Gate*	
(Hz)	(%)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)
1	0	0	0	12,06	0,002
	50	5,42	0,271	6,28	0,002
	100	11,11	0,563	0	0
50	0	0	0	12,06	0,002
	50	5,503	0,279	6,11	0,002
	100	11,12	0,563	0	0
100	0	0	0	12,06	0,002
	50	5,485	0,278	6,12	0,002
	100	11,12	0,563	0	0

TABEL 4
HASIL PENGUJIAN MOSFET PADA PERCOBAAN II DENGAN FREKUENSI TINGGI

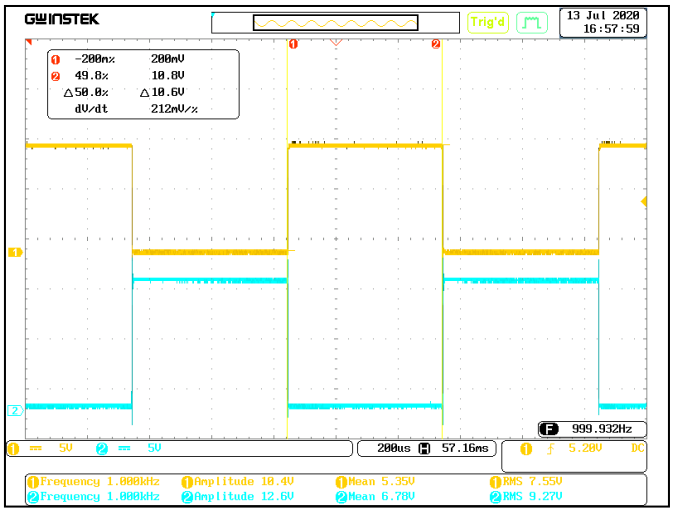
Freq	DTC	Beban		*Gate*	
(kHz)	(%)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (A)
1	0	0	0	12,06	0,002
	50	5,579	0,0282	6,03	0,002
	100	11,12	0,563	0	0
50	0	0	0	12,06	0,002
	50	6,115	0,31	5,56	0,002
	100	11,12	0,563	0	0
100	0	0	0	12,06	0,002
	50	6,536	0,331	5,209	0,002
	100	11,12	0,563	0	0

Dari hasil pengujian pada percobaan I terlihat bahwa bentuk karakteristik gelombang penyakelaran pada frekuensi 1 Hz, P-MOSFET mampu melakukan penyakelaran dengan sangat baik. Sedangkan pada saat penyakelaran P-MOSFET pada frekuensi 100 kHz, bentuk karakteristik gelombang penyakelaran terdapat *ringing* pada gelombang. Pada frekuensi tinggi bentuk gelombang sudah tidak sesuai dengan nilai pengaturan *duty cycle*. Dari hasil pengukuran terlihat bahwa tegangan *gate* berbanding terbalik dengan tegangan pada beban. Pola data ini sesuai dengan topologi penyakelaran *high-side switching* P-MOSFET yang mengakibatkan *inverting* pada nilai tegangan di beban.

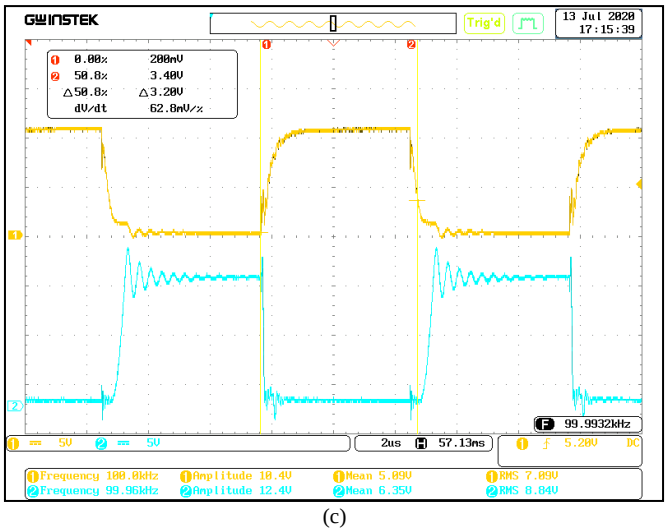
C. Pengujian MOSFET pada Percobaan III

Pengujian pada percobaan III menggunakan N-MOSFET dengan beban resistor 100 Ω dan induktor 51,5 mH. Pengujian dilakukan dengan mengatur besar nilai *duty cycle* dan nilai frekuensi. Pengujian bertujuan untuk melihat karakteristik dari penyakelaran N-MOSFET dengan beban resistor dan induktor menggunakan osiloskop, dengan *test point channel* 1 pada *gate* MOSFET dan *channel* 2 pada *drain* MOSFET. Gambar 16 menunjukkan hasil pengujian pada percobaan III.

(a)



(b)



(c)

Gambar 16. Hasil pengujian MOSFET pada percobaan III dengan DTC 50%, (a) Rangkaian pengujian, (b) Pengujian dengan frekuensi 1 kHz, (c) Pengujian dengan frekuensi 100 kHz

Submitted: 20/05/2021; Revised: 02/06/2021;
Accepted: 16/12/2021; Online first: 20/12/2021
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v2i2.711

TABEL 5
HASIL PENGUJIAN MOSFET PADA PERCOBAAN III

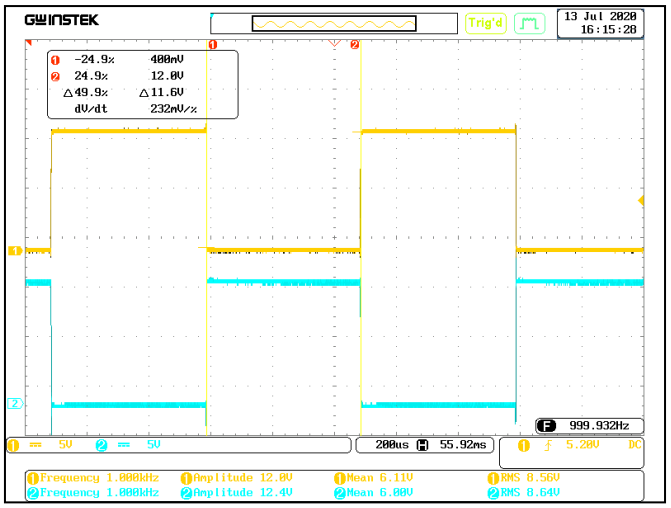
Freq	DTC	Beban		*Gate*	
(kHz)	(%)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (mA)
1	0	0	0	0	0
	50	5,651	0,033	5,319	0,01
	100	11,97	0,123	10,64	0,01
50	0	0	0	0	0
	50	5,9	0,053	5,206	0,01
	100	11,97	0,123	10,65	0,01
100	0	0	0	0	0
	50	6,103	0,059	5,069	0,01
	100	11,97	0,123	10,64	0,01

Dari hasil pengujian pada percobaan III terlihat bahwa bentuk karakteristik gelombang penyakelaran pada frekuensi 1 kHz, N-MOSFET mampu melakukan penyakelaran dengan sangat baik. Sedangkan pada saat penyakelaran N-MOSFET pada frekuensi 100 kHz, bentuk karakteristik gelombang penyakelaran terdapat *ringing* pada gelombang. Pengaruh beban induktor adalah ketika arus berubah dari nol ke keadaan stabil, maka induktansi memengaruhi rangkaian pada saat penyakelaran.

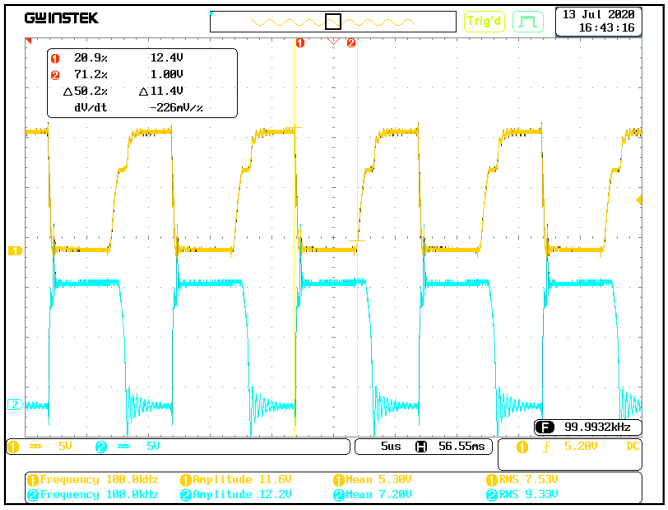
D. Pengujian MOSFET pada Percobaan IV

Pengujian pada percobaan IV menggunakan P-MOSFET dengan beban resistor 100 Ω dan induktor 51,5 mH. Pengujian dilakukan dengan mengatur besar nilai *duty cycle* dan nilai frekuensi. Pengujian bertujuan untuk melihat karakteristik dari penyakelaran P-MOSFET dengan beban resistor dan induktor menggunakan osiloskop, dengan *test point channel* 1 pada *gate* MOSFET dan *channel* 2 pada *drain* MOSFET. Gambar 17 menunjukkan hasil pengujian pada percobaan IV.

(a)



(b)



(c)

Gambar 17. Hasil pengujian MOSFET pada percobaan IV dengan DTC 50%, (a) Rangkaian pengujian, (b) Pengujian dengan frekuensi 1 kHz, (c) Pengujian dengan frekuensi 100 kHz

TABEL 6
HASIL PENGUJIAN MOSFET PADA PERCOBAAN IV

Freq	DTC	Beban		*Gate*	
(kHz)	(%)	Tegangan (V)	Arus (A)	Tegangan (V)	Arus (mA)
1	0	0	0	12,11	0,01
	50	5,597	0,033	6,07	0,01
	100	11,83	0,122	0	0
50	0	0	0	12,11	0,01
	50	6,271	0,057	5,67	0,01
	100	11,83	0,122	0	0
100	0	0	0	12,11	0.01
	50	6,9	0,068	5,308	0,01
	100	11,83	0,122	0	0

Dari hasil pengujian pada percobaan IV terlihat bahwa bentuk karakteristik gelombang penyakelaran pada frekuensi 1 kHz, P-MOSFET mampu melakukan penyakelaran dengan

Submitted: 20/05/2021; Revised: 02/06/2021;
Accepted: 16/12/2021; Online first: 20/12/2021
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v2i2.711

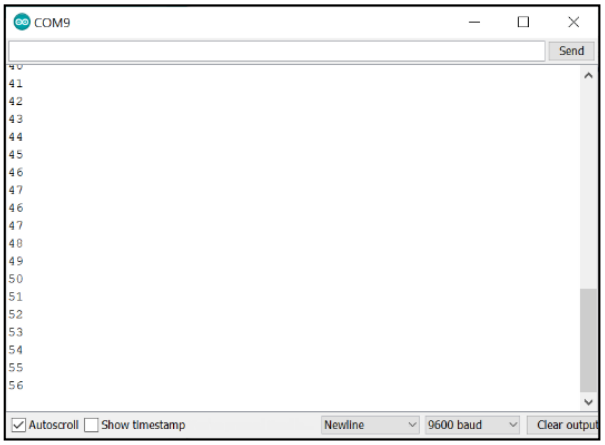
sangat baik. Sedangkan pada saat penyakelaran P-MOSFET pada frekuensi 100 kHz, bentuk karakteristik gelombang penyakelaran terdapat *ringing* pada gelombang. Pengaruh beban induktor adalah ketika arus berubah dari nol ke keadaan stabil, maka induktansi memengaruhi rangkaian pada saat penyakelaran.

E. Analisis Timing Program

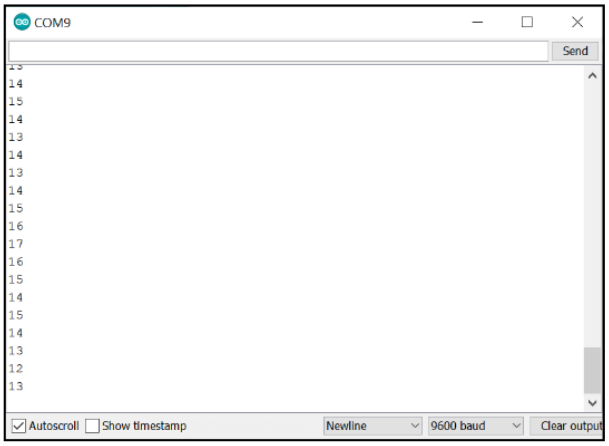
Analisis *timing* program dilakukan karena terdapat masalah pada pengaturan nilai *duty cycle* dan frekuensi. Pengaturan nilai *duty cycle* dan frekuensi mengalami *delay* atau *lag* pada saat *rotary encoder* diputar, di mana nilai *duty cycle* maupun frekuensi tidak mampu bertambah maupun berkurang saat putaran normal *rotary*. Berikut ini adalah tahapan dalam analisis *timing* program.

1). Pengujian *Rotary Encoder*

Pengujian *rotary encoder* dilakukan untuk melihat kinerja dari *rotary encoder* dengan menggunakan program *rotary* dasar dan penampil LCD. Pengujian dilakukan dengan menambahkan fungsi *delay*() sebagai asumsi dari program yang sedang berjalan. Pengujian ini bertujuan melihat pengaruh dari program yang berjalan terhadap kinerja *rotary encoder*. Hasil pengujian *rotary encoder* dapat dilihat pada Gambar 18.



(a)



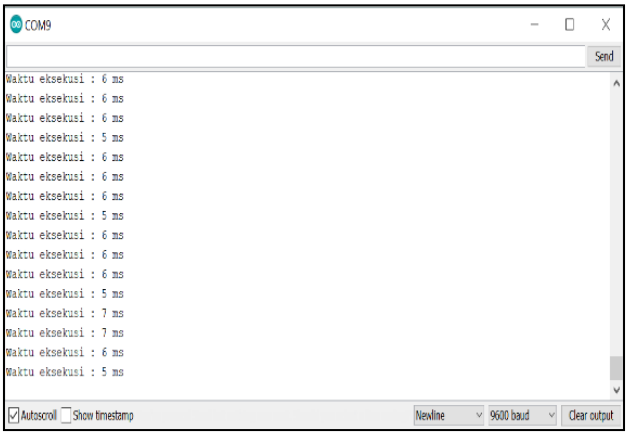
(b)

Gambar 18. Pengujian *rotary encoder*, (a) *Delay* 15 ms, (b) *Delay* 100 ms

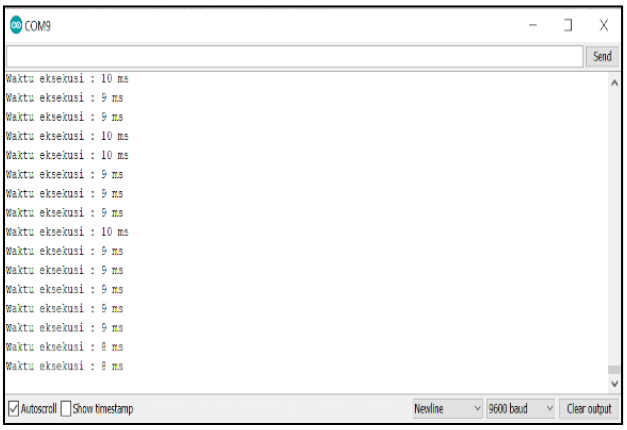
Pada *delay* 15 ms pembacaan nilai variabel putaran *rotary* masih normal. Pada *delay* 100 ms pembacaan nilai variabel putaran sudah tidak sesuai pada putaran normal, di mana rotor *rotary* tidak mampu untuk diputar normal. Putaran *rotary* harus sangat pelan pada *delay* 100 ms.

2). Pengukuran Waktu Eksekusi *Rotary Encoder*

Pengukuran waktu eksekusi *rotary encoder* dilakukan untuk melihat berapa lama waktu yang diperlukan untuk memproses program saat berjalan. Pengukuran waktu eksekusi menggunakan fungsi *millis*(). Hasil pengukuran waktu eksekusi *rotary encoder* dapat dilihat pada Gambar 19.



(a)



(b)

Gambar 19. Pengukuran waktu eksekusi *rotary encoder*, (a) Pembacaan nilai variabel putaran *rotary encoder* < 10, (b) Pembacaan nilai variabel putaran *rotary encoder* > 100

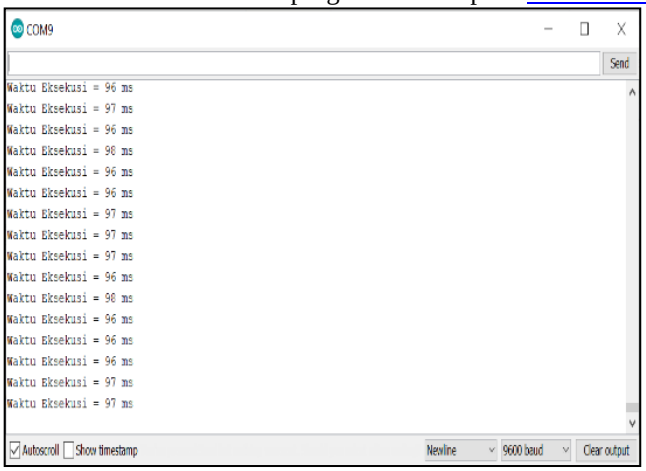
Gambar 19 menunjukkan lama waktu eksekusi pada *rotary encoder* dan ditambah dengan LCD untuk melihat nilai variabel putaran pada *rotary encoder*. Lama waktu eksekusi dari *rotary encoder* ditambah penampil LCD adalah sebesar 5-10 ms.

3). Pengukuran Waktu Eksekusi Keseluruhan Program

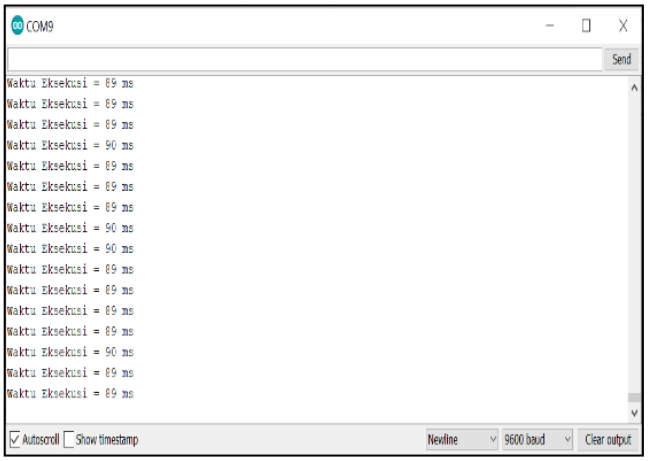
Pengukuran waktu eksekusi keseluruhan program dilakukan untuk melihat berapa lama waktu eksekusi program pada saat sistem berjalan. Pengukuran waktu eksekusi

Submitted: 20/05/2021; Revised: 02/06/2021;
Accepted: 16/12/2021; Online first: 20/12/2021
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v2i2.711

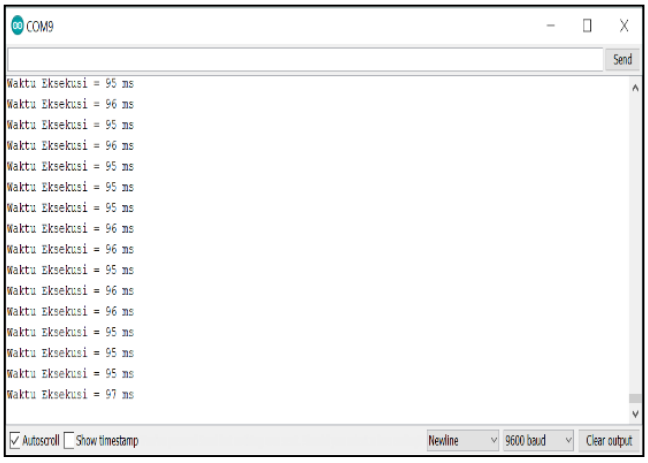
dilakukan pada tiap *page* tampilan menu. Hasil dari pengukuran waktu eksekusi keseluruhan program terlihat pada Gambar 20.



(a)



(b)



(c)

Gambar 20. Pengukuran waktu eksekusi keseluruhan program, (a) Tampilan menu *page1*, (b) Tampilan menu *page2*, (c) Tampilan menu *page3*

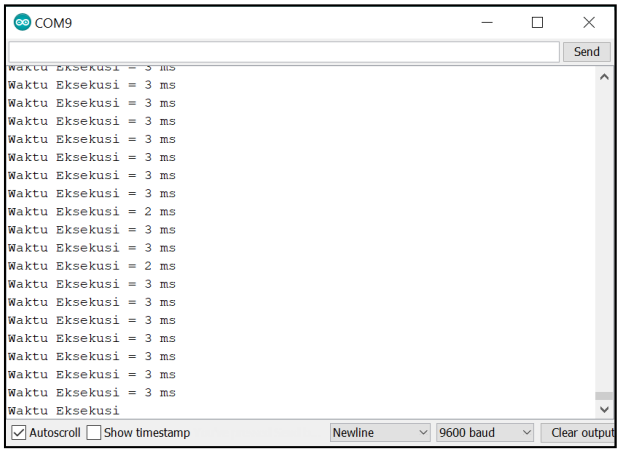
Dari hasil pengukuran diperoleh waktu eksekusi untuk tampilan menu *page1* sebesar 96-98 ms, tampilan menu *page2* sebesar 89-90 ms, dan tampilan menu *page3* sebesar 95-97 ms. Ditinjau dari hasil pengujian, maka yang menyebabkan masalah pada pengaturan nilai *duty cycle* dan frekuensi adalah waktu eksekusi program yang tinggi. Hal tersebut yang mengakibatkan putaran rotor *rotary encoder* pada pengaturan *duty cycle* maupun frekuensi harus diputar sangat pelan.

4). Perbaikan Program

Perbaikan program dilakukan untuk mengatasi masalah pada pengaturan nilai *duty cycle* dan frekuensi. Perbaikan program juga bertujuan agar program menjadi lebih efektif dan efisien. Berdasarkan data pengujian sebelumnya, yang menjadi titik berat perbaikan program yaitu pada menu *page3*. Karena pengaturan nilai *duty cycle* dan frekuensi terdapat pada menu *page3*, di mana pengukuran waktu eksekusi sebelumnya sebesar 95-97 ms. Hal tersebut yang menjadikan dasar perbaikan program ini dilakukan.

Pada pemrograman awal, nilai pengaturan *duty cycle* dan frekuensi langsung dieksekusi saat pengaturan dilakukan. Pengaturan tersebut dilakukan pada *page*3 begitupun dengan eksekusi nilai pengaturannya. Berdasarkan cara pengaturan di atas, maka langkah pertama yang dilakukan adalah memisahkan antara pengaturan nilai *duty cycle* dan frekuensi dengan eksekusi pengaturan tersebut. Artinya adalah nilai *duty cycle* dan frekuensi diatur terlebih dahulu, kemudian dengan menekan *switch* pada *rotary encoder* maka nilai pengaturan tersebut akan dieksekusi atau dijalankan. Caranya adalah dengan menambahkan satu tampilan menu *page* untuk menjalankan nilai pengaturan *duty cycle* dan frekuensi yaitu *page4*.

Selanjutnya adalah mengurangi karakter yang di tampilkan pada LCD. Hal tersebut dilakukan karena penampilan karakter pada LCD memengaruhi waktu eksekusi program. Gambar 21 menunjukkan waktu eksekusi tiap karakter pada penampil LCD.



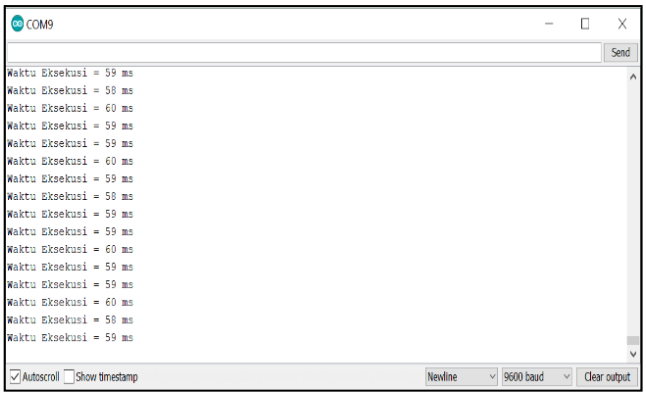
Gambar 21. Waktu eksekusi tampilan satu karakter pada LCD

Pada Gambar di atas dapat dilihat bahwa waktu eksekusi untuk tampilan satu karakter sebesar 2-3 ms. Berdasarkan pengukuran waktu eksekusi penampilan karakter maka dilakukan perbaikan pada tampilan LCD *page*3.

Selanjutnya yang dilakukan adalah pengecekan keseluruhan program untuk memastikan keefektifan program. Evaluasi keseluruhan program dilakukan tanpa mengubah fungsi serta kinerja dari sistem. Berikut ini adalah waktu

Submitted: 20/05/2021; Revised: 02/06/2021;
Accepted: 16/12/2021; Online first: 20/12/2021
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v2i2.711

eksekusi pada menu *page3* setelah dilakukan perbaikan program.



Gambar 22. Waktu eksekusi tampilan menu *page3* setelah perbaikan program

Berdasarkan hasil pengukuran waktu eksekusi setelah program dilakukan perbaikan, maka diperoleh waktu eksekusi program sebesar 58-60 ms. Waktu eksekusi pada menu *page3* berkurang sebesar 37 ms. Setelah dilakukan perbaikan program, putaran rotor *rotary encoder* untuk melakukan pengaturan nilai *duty cycle* dan frekuensi dapat berputar secara normal.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari perancangan serta pengujian yang sudah dilakukan, maka didapatkan simpulan yaitu saat pengujian MOSFET dengan beban resistor 20 Ω, pada pengujian N-MOSFET dan P-MOSFET saat *cut off* tegangan pada beban sebesar 0 V dan arus sebesar 0 A. Sedangkan pada saat *ohmic*, untuk pengujian N-MOSFET tegangan pada beban sebesar 11,39 V dan arus sebesar 0,577 A, serta untuk pengujian P-MOSFET tegangan pada beban sebesar 11,12 V dan arus sebesar 0,563 A.

Pengujian MOSFET dengan beban resistor 100 Ω dan induktor 51,5 mH, pada pengujian N-MOSFET dan P-MOSFET saat *cut off* tegangan pada beban sebesar 0 V dan arus sebesar 0 A. Sedangkan pada saat *ohmic*, untuk pengujian N-MOSFET tegangan pada beban sebesar 11,97 V dan arus sebesar 0,123 A, serta untuk pengujian P-MOSFET tegangan pada beban sebesar 11,83 V dan arus sebesar 0,122 A.

Permasalahan pada perangkat alat hasil penelitian terdahulu ada pada waktu eksekusi program untuk tampilan menu *page*3. Sehingga berdampak pada operasi pengaturan nilai *duty cycle* dan frekuensi. Waktu eksekusi sebelum dilakukan perbaikan program sebesar 95-97 ms. Setelah dilakukan perbaikan program waktu eksekusi sebesar 58-60 ms.

REFERENSI

[1] Ristekdikti, *Buku Panduan Teknologi Pembelajaran Pendidikan Tinggi Vokasi*, 1st ed. Jakarta: Direktorat Jenderal Pembelajaran dan Kemahasiswaan Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi, 2016.

[2] Malvino and D. Bates, *Electronic Principles*, 8th ed., McGraw-Hill Education, 2015.

[3] L. E. Frenzel, *Contemporary Electronics: Fundamentals, Devices, Circuits, and Systems*., McGraw-Hill Education, 2013.

[4] International Rectifier, *IRLB3034Pbf.* .California, USA, 2009.

[5] Vishay Intertechnology, *IRF9540*.: Vishay Intertechnology, 2011.

[6] M. H. Rashid, *Power Electronics Handbook*, 4th ed., Butterworth-Heinemann, 2017.

[7] J. Lewis. *Low Side Vs. High Side Transistor Switch*, Accessed November 5. 2019, Available: https://bit.ly/ 34Z5Wzi

[8] Arduino. *Arduino Mega 2560Arduino Online Shop*, Accessed: November 6, 2019, [Online]. Available: https://bit.ly/2pREowG.

[9] *Mega 2560 PRO (Embed) CH340G/ATmega2560-16AU*, Accessed: December 2, 2019, RobotDyn. [Online]. Available: https://bit.ly/35bW094.

[10] M. H. A. Malik, *Pengenalan Arduino Sensor dan Aktuator*. Garut, 2018.

[11] International Rectifier, *Datasheet IR2110 High and Low Side Driver*.

Submitted: 20/05/2021; Revised: 02/06/2021;
Accepted: 16/12/2021; Online first: 20/12/2021
http://dx.doi.org/10.46964/poligrid.v2i2.711