

## Rancang Bangun DC Chopper Empat Kuadran untuk Motor DC dengan Monitoring Simulink Matlab

Bunga Anggrila<sup>1\*</sup>, Krismadinata<sup>1</sup>, Erita Astrid<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang  
Jln. Prof. Dr. Hamka Air Tawar, Padang, Sumatera Barat, Indonesia

<sup>2</sup>Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan  
Jl. William Iskandar Ps. V, Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara

\*e-mail: [bungaanggrila@outlook.com](mailto:bungaanggrila@outlook.com)

(Diajukan: 22 Juli 2024, direvisi: 07 Agustus 2024, disetujui: 01 Oktober 2024, dipublikasikan: 26 Oktober 2024)

### Abstrak

Pada awal abad ke-20, ilmu pengetahuan dan teknologi berkembang pesat, terutama dalam teknologi informasi dan otomatisasi produksi. Mesin industri mulai dikendalikan oleh sistem otomatisasi seperti PLC dan komputer. Salah satu implementasi teknologi otomatisasi ini adalah mesin listrik, khususnya mesin arus searah (DC). Salah satu mesin arus searah yang paling sering digunakan di industri adalah motor arus searah (DC) karena kemampuannya menghasilkan torsi awal besar dan pengendalian putaran yang mudah. Namun, perubahan beban sering menyebabkan kecepatan motor tidak stabil, sehingga diperlukan pengaturan tegangan menggunakan konverter daya seperti DC chopper. DC chopper empat kuadran dipilih karena dapat mengatur kecepatan motor dalam dua arah dan melakukan pengereman. Lalu dapat dimonitoring melalui *interface Simulink*, yang memungkinkan pengoperasian tanpa saklar langsung dari laptop atau komputer.

**Kata Kunci:** DC chopper empat kuadran, motor DC, *interface* simulink.

### Abstract

*In the early 20th century, science and technology developed rapidly, especially in information technology and production automation. Industrial machinery began to be controlled by automation systems such as PLCs and computers. One of the implementations of this automation technology is electrical machinery, especially direct current (DC) machines, direct current (DC) motors have become popular in industry due to their ability to produce large starting torque and easy rotation control. However, load changes often cause unstable motor speed, so voltage regulation using a power converter such as a DC chopper is required. The four-quadrant DC chopper was chosen because it can adjust the motor speed in two directions and perform braking. It can then be monitored through a Simulink interface, which allows switchless operation directly from a laptop or computer.*

**Keywords:** 4 quadran DC chopper, DC motor, monitoring simulink.

## PENDAHULUAN

Mesin listrik, khususnya mesin arus searah (DC), telah menjadi komponen penting di industri. Mesin arus searah ini beroperasi menggunakan sumber DC dan dibagi menjadi dua jenis berdasarkan prinsip kerjanya, yaitu generator DC dan motor DC[1]. Motor DC sering digunakan dalam industri besar karena pengaturan kecepatan putaran motor yang bervariasi, torsi awal yang besar dan dapat bekerja secara lebih efisien dibanding motor arus bolak balik [2][3]. Kecepatan motor DC dapat diatur dengan tiga cara, yaitu mengatur tegangan jangkar motor, mengatur tahanan sisipan pada rangkaian kumparan jangkar motor, dan mengatur arus medan[3].

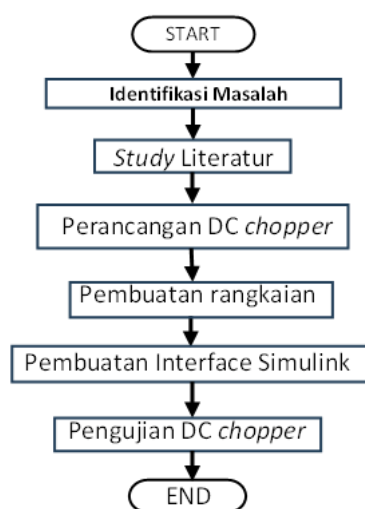
Motor DC merupakan mesin arus searah yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi kinetik atau gerak, motor DC memiliki dua terminal dan dapat dioperasikan dengan memberikan sumber tegangan DC pada terminal motor [1][4]. Motor DC banyak digunakan di industri karena torsi awal yang dihasilkan oleh motor besar dan pengendalian putaran yang lebih sederhana[5][6]. Motor DC dapat dioperasikan dengan metode *on/off* tetapi ini tidak disarankan karena dapat menyebabkan arus start yang sangat tinggi, yang bisa mengakibatkan overload atau kerusakan perangkat dalam waktu singkat[7]. Selain itu, kecepatan motor DC seringkali tidak konstan karena dipengaruhi oleh perubahan beban sehingga kecepatan motor DC ini harus dikendalikan agar sesuai dengan kecepatan yang dibutuhkan. Untuk mempertahankan kecepatan yang konstan, diperlukan pengaturan arus pada motor DC[5].

Pengaturan arus ini dapat dilakukan dengan mengatur tegangan motor menggunakan konverter daya. Salah satu konverter daya yang efektif untuk mengendalikan kecepatan motor DC adalah DC chopper [5]. DC chopper berfungsi sebagai sakelar on-off berkecepatan tinggi yang dapat mengubah tegangan input DC tetap menjadi tegangan output DC variabel[4]. Ada beberapa jenis DC chopper, di antaranya adalah satu kuadran, dua kuadran, dan empat kuadran. Pemilihan jenis DC chopper tergantung pada bentuk operasi motor yang akan dikendalikan[5].

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan jenis DC chopper empat kuadran untuk mengendalikan operasi motor DC. DC chopper empat kuadran dipilih karena dapat mengoperasikan motor dc dalam empat mode yang berbeda, yaitu forward motoring, reverse motoring, forward breaking dan reverse breaking[8]. DC *chopper* empat kuadran juga memiliki keunggulan lain dibandingkan pengendali lain, seperti meminimalkan arus start, mengatur kecepatan motor, dan membalik arah putaran motor[7]. Pengendalian dilakukan dengan metode switching dengan menggunakan MOSFET yang diatur dengan sinyal PWM[9][10]. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan interface Simulink sebagai sistem monitoring, sehingga operasi dapat dilakukan melalui laptop/komputer tanpa mengaktifkan saklar secara manual. Dengan demikian, penelitian ini dapat dioperasikan melalui dua metode: menggunakan saklar dan interface Simulink. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membuat rangkaian kendali konverter empat kuadran untuk motor DC dengan monitoring simulink.

## METODE

Penelitian ini dirancang untuk sistem kendali konverter DC-DC empat kuadran untuk motor DC dengan interface simulink yang diimplementasikan dengan Arduino Mega 2560. Kecepatan motor DC dapat dikendalikan dengan cara mengatur arus jangkar, pengaturan arus jangkar ini dapat dilakukan dengan mengatur tegangan motor menggunakan konverter daya. Konverter daya yang akan digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah DC *chopper* melalui pengaturan modulasi *switch converter*. Modulasi switch Dc *chopper* ini diatur dengan metode *pulse with modulation* (PWM) dengan menggunakan mikrokontroler arduino mega 2560. Lebar pulsa modulasi PWM dikendalikan dengan duty cycle yang merupakan output dari kontroler arus jangkar. Penelitian ini melalui beberapa tahapan, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada diagram alir Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Data yang akan diambil pada penelitian ini mencakup data di *interface* simulink dan pengukuran alat secara langsung. Data di *interface* simulink diambil secara langsung di matlab simulink sedangkan data secara langsung diambil dengan multimeter. *Interface* simulink menampilkan hasil data dan grafik pengukuran data sensor tegangan secara *real time*. Pada Gambar 2. Dapat dilihat proses pengujian alat yang telah dibuat.



Gambar 2. Proses Pengujian Konverter

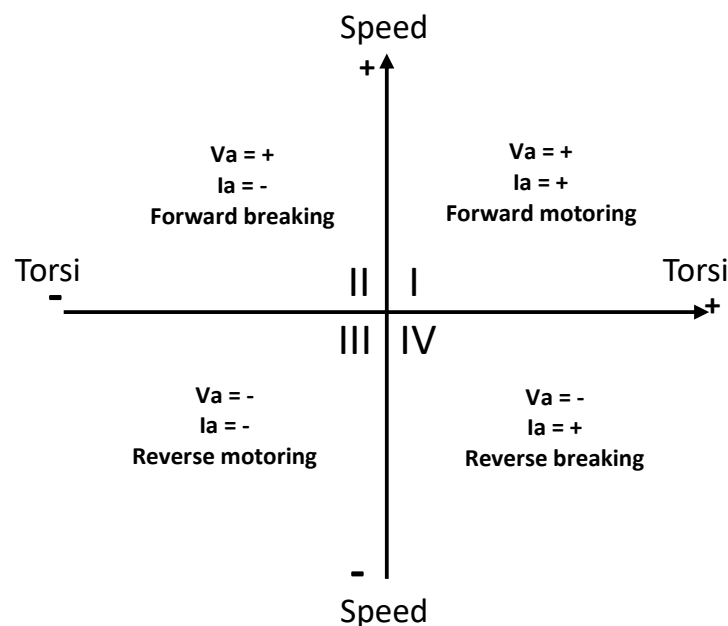
### Konverter DC-DC Empat Kuadran (DC Chopper)

Dc chopper adalah rangkaian elektronika daya yang dapat mengubah sumber listrik DC menjadi listrik DC dengan tegangan yang dapat diatur. Penggunaan pembagi tegangan konvensional kurang efisien dan menghasilkan panas berlebih. DC chopper menggunakan konsep switching dengan komponen semikonduktor daya seperti SCR, transistor, dan MOSFET yang difungsikan sebagai saklar elektronis. Komponen ini diatur oleh rangkaian pemacu berupa gelombang pulsa baik arus maupun tegangan tergantung komponen semikonduktor yang digunakan [11][12]. Pada penelitian ini, konverter DC-DC empat kuadran menggunakan empat buah Mosfet dan 4 buah dioda anti paralel [8].

DC chopper empat kuadran juga dikenal sebagai *H-Bridge Chopper* karena dapat bekerja secara *bidirectional* pada arus maupun tegangan kerja atau memiliki empat kuadran kerja [13]. Dc chopper banyak digunakan dalam industri untuk mengubah tegangan DC tetap menjadi tegangan DC yang dapat diatur atau diubah-ubah. Pengaplikasian DC chopper seperti pada putaran motor, kereta trolis, dan truk pengangkut barang. Alat-alat ini membutuhkan pengontrolan akselerasi yang baik, respon cepat, dan efisiensi tinggi [11].

### Operasi Motor DC Empat Kuadran

Operasi motor empat kuadran berarti motor DC dapat beroperasi dalam 4 kondisi yaitu kuadran I (motor berputar searah jarum jam), kuadran III (motor berputar berlawanan arah jarum jam), sedangkan kuadran II dan kuadran IV akan terjadi proses pengereman [8]. Operasi motor DC empat kuadran dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Proses Pengujian Konverter

Berikut penjelasan cara kerja motor kuadran I, kuadran II, kuadran III, dan kuadran IV:

#### 1. Kuadran I

Pada kuadran I, torsi dan kecepatan motor bernilai positif, sehingga motor berputar searah jarum jam (*clockwise rotation*). Dalam pengoperasian ini, tegangan dan arus

jangkar akan bernilai positif sehingga mode operasi ini dikenal dengan operasi *forward motoring*.

## 2. Kuadran II

Pada kuadran II, kecepatan motor bernilai positif sedangkan torsi bernilai negatif. Torsi yang bernilai negatif ini yang akan digunakan untuk pengereman pada putaran motor, dimana tegangan jangkar bernilai positif dan arus bernilai negatif sehingga mode operasi ini disebut *forward braking*.

## 3. Kuadran III

Pada kuadran III, torsi dan kecepatan motor bernilai negatif, sehingga motor berputar berlawanan arah jarum jam (*counter-clockwise rotation*). Dalam pengoperasian ini, tegangan dan arus jangkar akan bernilai negatif sehingga mode operasi ini dikenal dengan operasi *reverse motoring*.

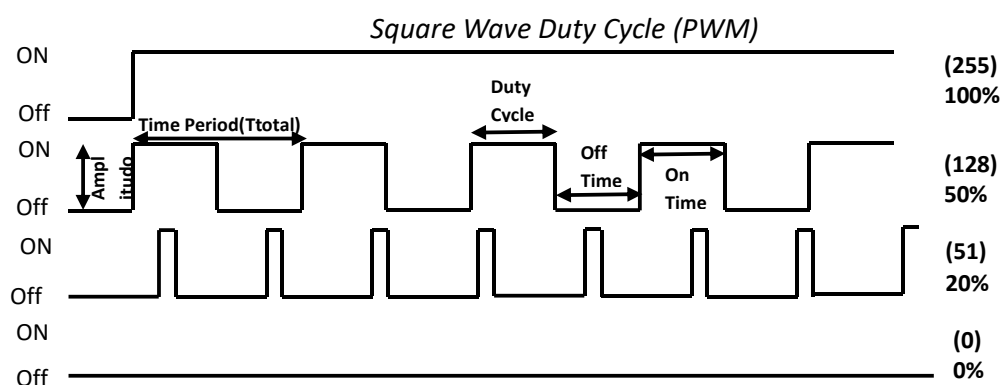
## 4. Kuadran IV

Pada kuadran IV, kecepatan motor bernilai negatif sedangkan torsi bernilai positif. Torsi ini yang akan digunakan untuk pengereman pada putaran motor yang berlawanan arah jarum jam, dimana tegangan jangkar bernilai negatif dan arus jangkar bernilai positif sehingga mode operasi ini disebut *reverse braking*.

### Pulse With Modulation (PWM)

PWM (*Pulse Width Modulation*) merupakan suatu teknik modulasi dengan mengubah lebar pulsa (*duty cycle*) dengan nilai frekuensi dan amplitude yang tidak berubah. Lebar pulsa PWM berbanding lurus dengan amplitude sinyal asli yang termodulasi. *Duty cycle* merupakan representasi dari nilai *high* dalam suatu periode sinyal dan dinyatakan dalam bentuk persen (%) dengan nilai range 0% sampai 100%. Jika nilai *duty cycle* 100% berarti sinyal dalam kondisi *high* secara terus menerus. Lalu ketika *duty cycle* bernilai 50% berarti sinyal dalam keadaan *high* sama dengan keadaan *low* [14].

Sinyal PWM dalam waktu tertentu dapat tetap dalam keadaan ON dan kemudian dalam keadaan OFF selama sisa periodenya. Hal ini membuat PWM lebih bermanfaat ketika digunakan, karena lama kondisi *ON* dapat dikendalikan dengan mengendalikan siklus kerja atau *duty cycle* [14]. PWM bertujuan untuk pengontrolan daya yang di suplai dari beban inersia motor DC [15]. Bentuk sinyal PWM Dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Output Sinyal PWM

Untuk menghitung siklus kerja atau *duty cycle* dapat menggunakan rumus berikut:

$$cycle = t_{ON} / (t_{ON} + t_{OFF}) \text{ Atau } Duty\ cycle = T_{ON} / T_{total}$$

$$cycle = \frac{t_{ON}}{(t_{ON} + t_{OFF})} \quad (1)$$

Atau

$$Duty\ cycle = \frac{T_{ON}}{T_{total}} \quad (2)$$

Keterangan:

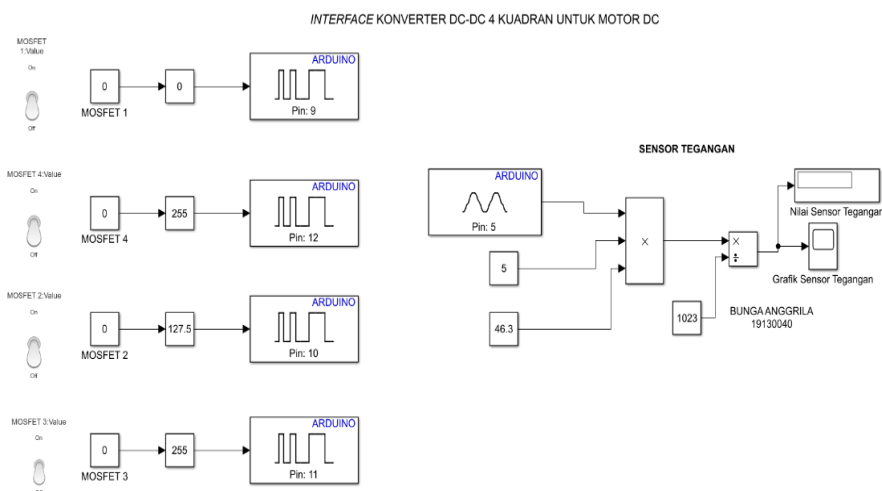
Ton = Waktu *on* atau waktu ketika tegangan keluaran pada posisi tinggi (*high* atau 1)

Toff = Waktu *off* atau waktu ketika tegangan keluaran pada posisi rendah (*high* atau 0)

PWM biasanya diaplikasikan untuk pengaturan kecepatan motor DC, pengendalian sudut motor servo dan pengaturan kecerahan LED. Contoh penggunaan PWM pada pengaturan kecepatan motor dc, dimana semakin besar nilai *duty cycle* yang diberikan maka akan mempengaruhi kecepatan putaran motor, semakin besar nilai *duty cycle* yang diberikan maka kecepatan putaran motor akan semakin cepat dan begitu juga sebaliknya, ketika nilai *duty cycle* yang diberikan kecil maka kecepatan putaran motor akan semakin lambat [14].

## HASIL DAN PEMBAHASAN

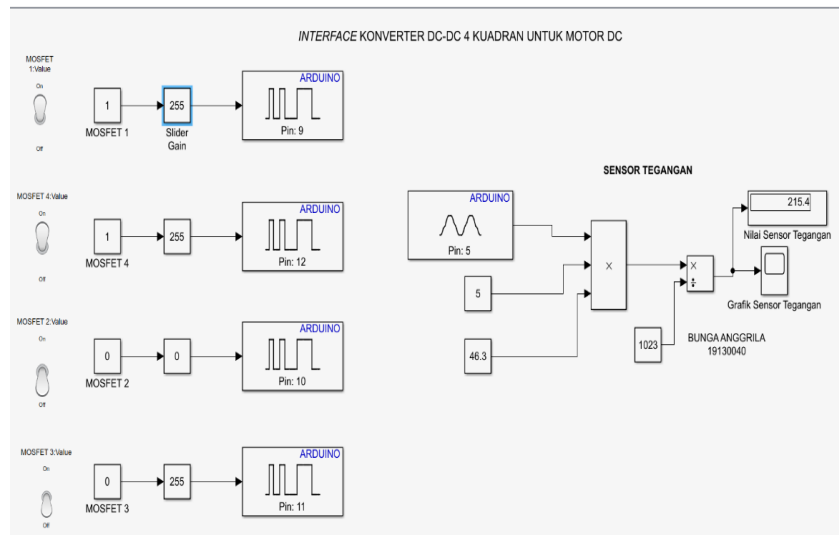
Pada penelitian ini dilakukan percobaan dengan interface Simulink sebagai monitoring untuk mengaktifkan dan menonaktifkan saklar. Selain itu, interface Simulink juga menampilkan data dan grafik pembacaan sensor tegangan secara *real time*. Pengamatan dilakukan pada kuadran I, kuadran II, kuadran III, dan kuadran IV untuk melihat hasil pengukuran sensor tegangan ketika motor dalam keadaan *forward motoring*, *reverse motoring*, *forward breaking* dan *reverse breaking*. Untuk gambar keseluruhan tampilan *interface Simulink* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Tampilan *Interface Simulink*

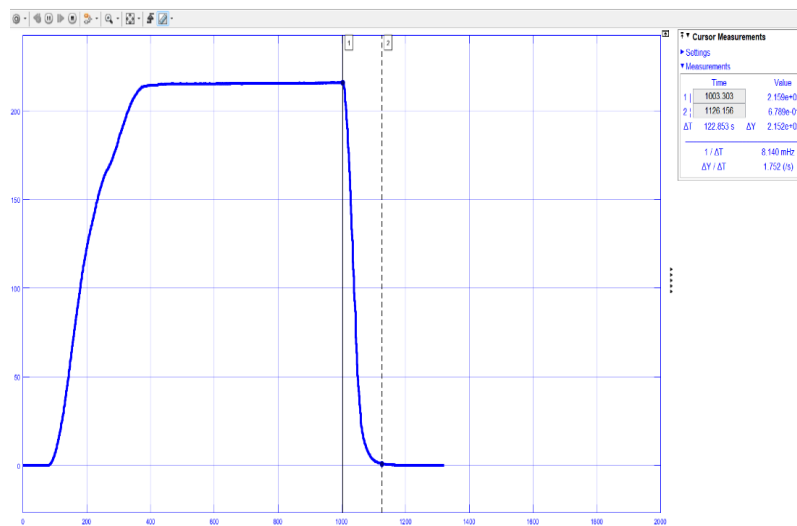
### 1. Hasil Pengujian Kuadran I (*Forward Motoring*)

Pengujian pada kuadran I dilakukan dengan mengaktifkan saklar mosfet 1 dalam keadaan modulasi, Dimana nilai saklar mosfet 1 dapat divariasikan dengan blok *slider gain* dari nilai 0-255 dan mengaktifkan saklar mosfet 4 dalam keadaan tetap aktif yaitu dengan memberikan nilai 255 pada blok *slider gain*. Sedangkan saklar mosfet 2 dan 3 dalam keadaan *off*. *Interface Simulink* menampilkan pembacaan data dan grafik sensor tegangan secara *real time*. Tampilan *interface Simulink* untuk kuadran 1 dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Tampilan *Interface Simulink Pada Kuadran I*

Hasil grafik pengujian dapat kita lihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Hasil Pengujian Pada Kuadran I

### 2. Hasil Pengujian Kuadran II (*Forward Breaking*)

Pengujian pada kuadran II dilakukan dengan mengaktifkan saklar mosfet 2, saklar mosfet 1, saklar mosfet 3, dan saklar mosfet 4 dalam keadaan *off*. Hasil grafik dari pembacaan sensor dapat dilihat pada Gambar 8.

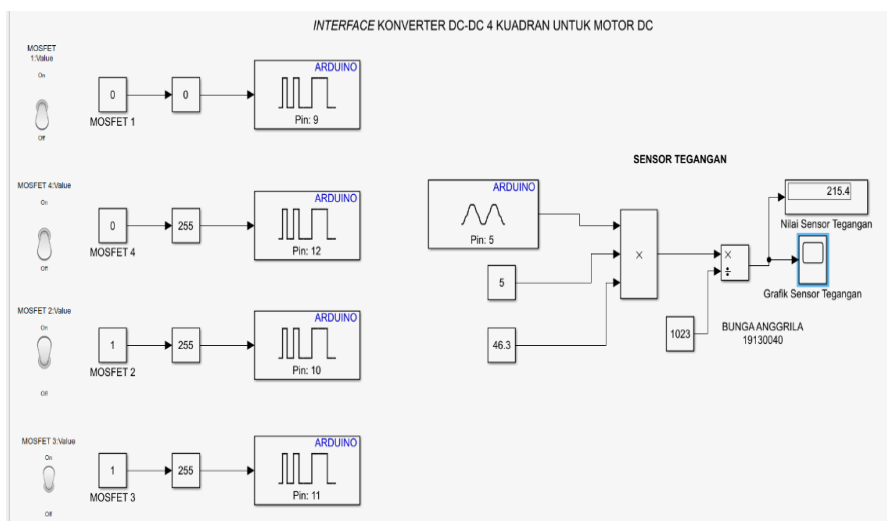


Gambar 8. Grafik Hasil Pengujian Pada Kuadran II

Hasil grafik pengujian tidak memperlihatkan keadaan *forward breaking*, hal ini dikarenakan grafik pada Gambar 8 memperlihatkan hasil pembacaan sensor tegangan. Namun, keadaan pengoperasian motor ketika ditekan saklar mosfet 4 langsung mengalami pengereman.

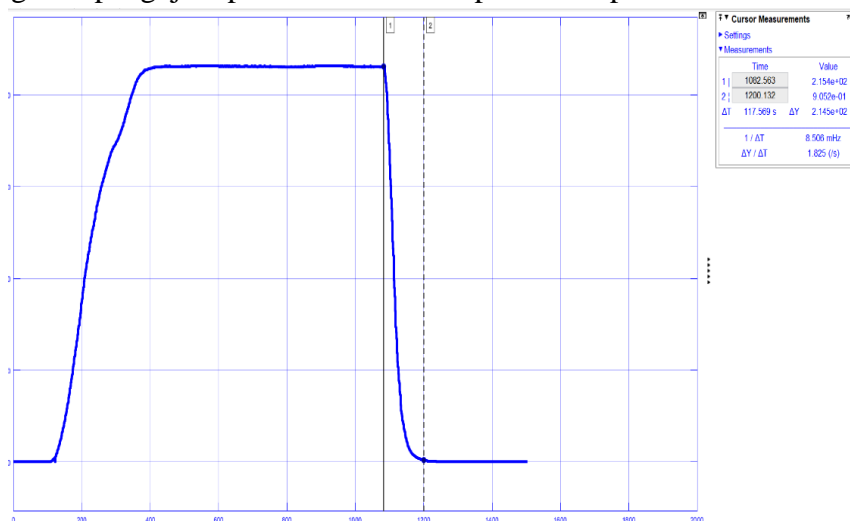
### 3. Hasil Pengujian Kuadran III (*Reverse Motoring*)

Pengujian pada kuadran III dilakukan dengan mengaktifkan saklar mosfet 2 dalam keadaan modulasi, Dimana nilai saklar mosfet 2 dapat divariasikan dengan blok *slider gain* dari nilai 0-255 dan mengaktifkan saklar mosfet 3 dalam keadaan tetap aktif yaitu dengan memberikan nilai 255 pada blok *slider gain*. Sedangkan saklar mosfet 1 dan 4 dalam keadaan *off*. *Interface Simulink* menampilkan pembacaan data dan grafik sensor tegangan secara *real time*. Tampilan *interface Simulink* untuk kuadran 1 dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Tampilan Interface Simulink Pada Kuadran I

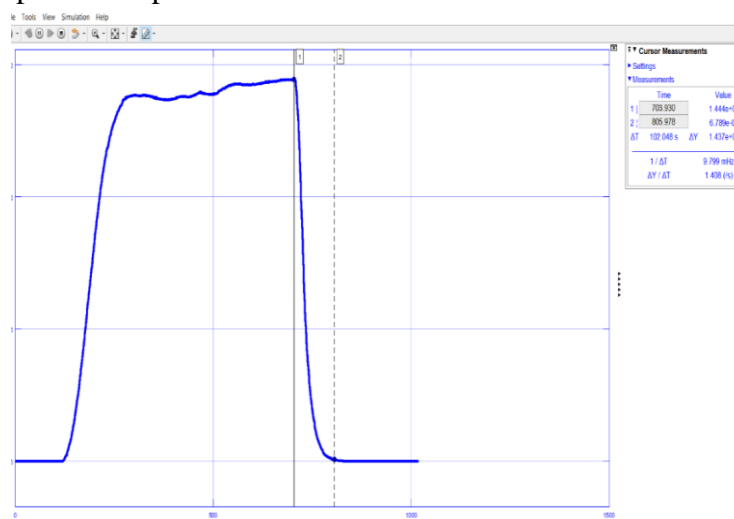
Hasil grafik pengujian pada kuadran III dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Hasil Pengujian Pada Kuadran III

#### 4. Hasil Pengujian Kuadran IV (*Reverse Breaking*)

Pengujian pada kuadran IV dilakukan dengan mengaktifkan saklar mosfet 4, saklar mosfet 1, saklar mosfet 2, dan saklar mosfet 3 dalam keadaan *off*. Hasil grafik dari pembacaan sensor dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Grafik Hasil Pengujian Pada Kuadran IV

Hasil grafik pengujian tidak memperlihatkan keadaan *reverse breaking*, hal ini dikarenakan grafik pada Gambar 11 memperlihatkan hasil pembacaan sensor tegangan. Namun, keadaan pengoperasian motor ketika ditekan saklar mosfet 4 langsung mengalami pengereman.

Untuk melihat perubahan nilai tegangan, percobaan dilakukan dengan memvariasikan nilai *duty cycle*. DC chopper dioperasikan dengan memberikan nilai input tegangan 220 VDC. Untuk hasil pengukuran dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil pengukuran pada kuadran I

<i>Duty Cycle</i>	Input(V)	Output (V)
20	220	46
30	220	77
50	220	125
70	220	155
90	220	197
100	220	218

Tabel 2. Hasil pengukuran pada kuadran III

Duty cycle	Input (V)	Output (V)
20	220	47
30	220	77
50	220	126
70	220	154
90	220	196
100	220	218

## KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah melakukan penelitian dari pemodelan *driver* motor dc dengan menggunakan dc *chopper* empat kuadran dengan *interface* simulink Matlab dapat disimpulkan, bahwa Dc *chopper* empat kuadran dapat dioperasikan dalam empat mode operasi, yaitu *forward motoring*, *forward breaking*, *reverse motoring*, dan *reverse breaking*. Selain itu, penggunaan *interface* simulink sangat memudahkan untuk melihat hasil data dan grafik pembacaan sensor tegangan secara *real time*.

Berdasarkan kesimpulan yang didapat, ada beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut dan peningkatan kualitas dari konverter DC-DC empat kuadran untuk motor DC ini. Salah satunya yaitu pemilihan kualitas Mosfet agar konverter dapat menghasilkan kestabilan tegangan dalam keadaan ada beban agar lebih stabil.

## REFERENSI

- [1] Z. Anthony, *Mesin Listrik Dasar*. Padang: ITP Press, 2018.
- [2] D. Harind, Y. Putra, and R. Dinzi, "STUDI PENGATURAN KECEPATAN MOTOR DC SHUNT DENGAN METODE WARD LEONARD ( Aplikasi pada Laboratorium Konversi Energi Listrik FT-USU )," pp. 13–18, 2014.
- [3] F. Rahmadi and M. Yuhendri, "Kendali Kecepatan Motor DC Menggunakan Chopper DC Dua Kuadran Berbasis Kontroller PI," *JTEIN J. Tek. Elektro Indones.*, vol. 1, no. 2, pp. 241–245, 2020, doi: 10.24036/jtein.v1i2.71.
- [4] R. S. Zulkifli, "Pengaruh Kendali Kecepatan Motor DC Pada Chopper Drive," *J. Tek. Elektro dan Komput. TRIAC*, vol. 8, no. 2, pp. 39–43, 2021, doi: 10.21107/triac.v8i2.11277.
- [5] M. I. Esario and M. Yuhendri, "Kendali Kecepatan Motor DC Menggunakan DC Chopper Satu Kuadran Berbasis Kontroller PI," *JTEV (Jurnal Tek. Elektro dan Vokasional)*, vol. 6, no. 1, p. 296, 2020, doi: 10.24036/jtev.v6i1.108005.

- [6] A. Wahid Ibrahim, T. Wahyu Widodo, and T. Wahyu Supardi, “Sistem Kontrol Torsi pada Motor DC,” *IJEIS (Indonesian J. Electron. Instrum. Syst.*, vol. 6, no. 1, p. 93, 2016, doi: 10.22146/ijeis.10775.
- [7] M. Safe, dan Krismadinata, and N. Padang JlProf Hamka, “DC-DC chopper 4 Kuadran Untuk Penggerak Motor DC Penguat Terpisah,” *MSI Trans. Educ.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–12, 2023.
- [8] N. E. Helwig, S. Hong, and E. T. Hsiao-wecksler, “Pemodelan dan Simulasi KOnverter DC-DC 4 Kuadran Sebagai Pengendali Putaran Motor DC,” vol. 8, p. 1, 2016.
- [9] M. H. Azmeer bin Ab Malek, H. Kakigano, and K. Takaba, “Dual active bridge DC–DC converter with tunable dual pulse-width modulation for complete zero voltage switching operation,” *IEEJ J. Ind. Appl.*, vol. 8, no. 1, pp. 98–107, 2019, doi: 10.1541/ieejia.8.98.
- [10] R. K. Ratnesh *et al.*, “Advancement and challenges in MOSFET scaling,” *Mater. Sci. Semicond. Process.*, vol. 134, no. June, p. 106002, 2021, doi: 10.1016/j.mssp.2021.106002.
- [11] Muhammad Ali, “Aplikasi Elektronika Daya.” 2018.
- [12] C. Ibrahim, T. Sukmadi, and A. Nugroho, “Perancangan Pengontrolan Motor Dc Menggunakan Dc – Dc Konverter Class C Mode Motoring Dan Regenerative Breaking Untuk Simulasi Kendaraan Listrik,” *Transient*, vol. 5, no. 3, pp. 339–344, 2016.
- [13] M. A. Wibowo, A. Warsito, and T. Sukmadi, “PERANCANGAN RANGKAIAN H-BRIDGE CHOPPER UNTUK SIMULASI KENDARAAN LISTRIK DENGAN PEMICUAN PWM ANALOG DAN DIGITAL”.
- [14] I. G. S. Widharma, *Buku Teks Mikrokontroler*, no. September. Bali: Politeknik Negeri Bali, 2021.
- [15] R. Baranwal, O. Aftab, and N. D. Ojha, “Kontrol Kecepatan Empat Kuadran Motor DC dengan Bantuan Mikrokontroler AT89S52,” pp. 111–129.

Halaman ini sengaja dikosongkan