

## **DC-DC chopper 4 Kuadran Untuk Penggerak Motor DC Penguat Terpisah**

**Mhd Safe'i<sup>1</sup> dan Krismadinata<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Teknik Elektro Industri, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

<sup>2</sup> Centre for Energy and Power Electronics Research, Universitas Negeri Padang Jl.Prof. Dr Hamka,  
Kampus UNP Air Tawar Padang 25131.Telp/Fax(0751)7055644,445998 \*

Email: [msafei179@gmail.com](mailto:msafei179@gmail.com), [krisma@ft.unp.ac.id](mailto:krisma@ft.unp.ac.id)<sup>2</sup>

(Diajukan:26 Januari 2023, direvisi: 3 April 2023, disetujui: 10 April 2023)

### **Abstrak**

Pada beberapa dekade terakhir kebutuhan akan penggerak dc sangat berkembang pesat baik untuk penggerak robot, kendaraan listrik dan lain sebagainya. Semakin tinggi kebutuhan penggerak dc maka semakin tinggi pula kebutuhan akan penggendali motor dc, untuk itu dalam artikel ini dibahas mengenai *dc-dc chopper* 4 kuadran sebagai penggerak motor dc 4 kuadran yang dapat beroperasi pada putaran dua arah dan pengereman. Perancangan dilakukan sebagai sistem kendali pada motor dc untuk melihat karakteristik arah putaran motor, meminimalisir lonjakan arus start pada motor dan pengatur kecepatan pada motor dc. Pengaturan kecepatan putaran motor dilakukan dengan mengatur tegangan input pada kumparan jangkar motor dc. Sistem kendali motor dc 4 kuadran menggunakan rangkaian *h-bridge* dengan metode *switching* pada *MOSFET* yang dikendalikan secara elektronik menggunakan sinyal PWM. Dengan metode ini pengaturan tegangan keluaran pada konverter *dc chopper* akan lebih bervariasi mulai dari 0-220 vdc. Pada penelitian ini pemodelan *dc-dc chopper* 4 kuadran dilakukan menggunakan software PSIM.

**Kata Kunci:** *driver* motor dc 4 kuadran, *dc chopper*, motor dc penguat terpisah

### **Abstract**

*In the last few decades the need for dc drives has grown rapidly both for robot drives, electric vehicles and so on. The higher the need for a dc drive, the higher the need for a dc motor controller, for that this article discusses the 4 quadrant dc-dc chopper as a 4 quadrant dc motor drive that can operate in two-way rotation and braking. The design is carried out as a control system on a dc motor to see the characteristics of the direction of rotation of the motor, minimize the starting current surge on the motor and control the speed of the dc motor. Setting the motor rotation speed is done by adjusting the input voltage to the dc motor anchor coil. The 4 quadrant dc motor control system uses an h-bridge circuit with the switching method on an electronically controlled MOSFET using a PWM signal. With this method, the output voltage setting on the chopper dc converter will vary from 0-220 vdc. In this study, 4 quadrant dc-dc chopper modeling was carried out using PSIM software.*

**Keywords:** *4 quadrant dc motor driver, chopper, separately excited dc motors*

## PENDAHULUAN

Dewasa ini penggunaan motor dc sangat banyak digunakan sebagai tenaga penggerak utama dalam dunia industri. Motor ini memiliki pengaplikasian yang sangat luas seperti penggerak robot, kendaraan listrik, sistem servo dan aplikasi serupa yang membutuhkan proses yang memadai[1]. Motor dc dapat di klasifikasikan sebagai pilihan utama dalam sistem penggerak jika dibandingkan dengan motor ac, popularitas ini dapat diperoleh karena motor dc memiliki keunggulan seperti kesederhanaan dalam sistem kontrol jika dibandingkan dengan penggerak ac[1][2].

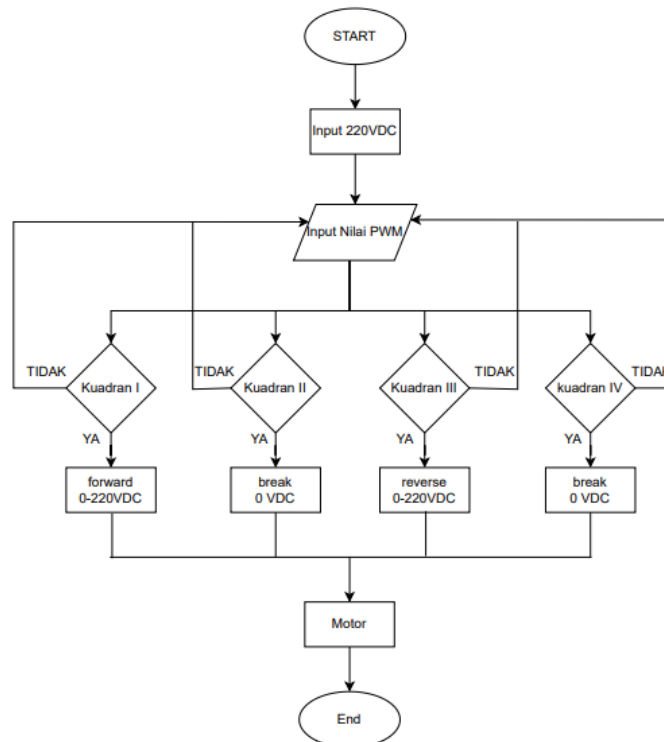
Dalam pengaplikasiannya motor dc dapat dioperasikan dengan metode *on/off* namun hal ini sangat tidak direkomendasikan karna akan menyebabkan arus *start* yang sangat besar pada motor sehingga akan menyebabkan *overload* dalam waktu yang singkat ataupun terjadi kerusakan pada perangkat[3][4]. Selain itu metode *on/off* juga memiliki kelemahan lain yaitu kecepatan motor tidak dapat diatur sesuai dengan kebutuhan[5]. Berdasarkan permasalahan tersebut maka motor dc memerlukan sebuah sistem kontrol yang mampu untuk mengurangi arus *starting* pada motor dan juga mampu mengatur kecepatan putaran motor sesuai kebutuhan[5][6].

Penelitian berfokus pada pengendalian motor dc penguat terpisah dengan *dc chopper* 4 kuadran[7][8]. *Dc chopper* 4 kuadran memiliki kelebihan dibandingkan dengan pengendali lain, diantaranya mampu meminimalkan arus *start* pada motor, dapat mengatur kecepatan motor dan mampu membalik arah putaran motor[9]. Pengendalian dilakukan dengan metode *switching* dengan menggunakan *MOSFET* yang diatur menggunakan sinyal PWM[10][11].

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan kecepatan putaran motor dc yang bervariasi dengan arus *start* yang kecil dan juga mampu untuk membalik arah putaran motor dc dengan simulasi menggunakan *software PSIM*.

## METODE

Pada penelitian ini digunakan sebuah *software PSIM* untuk melakukan simulasi sebagai media untuk mendapatkan pemodelan dan karakteristik motor pada penelitian yang akan dilakukan. Sebelum melakukan pemodelan langkah pertama yang harus dilakukan adalah mengukur tegangan dan arus operasi motor untuk mendapatkan data parameter motor apa saja yang akan digunakan dalam proses penelitian, pengukuran dilakukan dengan dua metode yaitu dengan menggunakan metode *dc test* dan *no load test*, dari hasil pengukuran tersebut dapat diketahui nilai resistansi kumparan jangkar ( $R_a$ ) dan resistansi kumparan medan ( $R_f$ ) motor. Data dari hasil pengukuran tadi akan digunakan sebagai acuan dalam melakukan simulasi untuk melihat karakteristik motor. Dalam melakukan penelitian ini motor dc 4 kuadran akan dioperasikan dalam beberapa kondisi yaitu pada kondisi kuadran I (*forward*), kuadran II (*break*) kuadran III (*reverse*), dan kuadran IV (*break*). Untuk lebih jelasnya model operasi moter dc 4 kuadran dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Flowchart operasi motor dc 4 kuadran

### Parameter Rangkaian Ekuivalen Motor DC Penguat Terpisah

Parameter rangkaian ekuivalen merupakan gambaran dari mesin yang akan digunakan untuk melihat pendekatan perilaku dan karakteristik mesin yang akan digunakan. Untuk mendapatkan nilai dari parameter motor dilakukan tahapan pengujian dengan mengacu pada spesifikasi motor yang digunakan. Data spesifikasi motor dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi motor dc berdasarkan *name plate*

Nomor	Data name plate	Keterangan
1	LEYBOLD-HERAEUS	Merek motor
2	Gv 171 LH	Type pabrikan
3	220 VDC	Tegangan operasi
4	0,5-1 A	Arus kumparan jangkar
5	0,12 A	Arus kumparan medan
6	120 W	Daya motor
7	1200-1600	Kecepatan putaran (rpm)

Berdasarkan data dari spesifikasi motor yang digunakan, maka dapat dilakukan tahapan untuk menentukan nilai parameter motor dengan melakukan pengujian dengan melakukan simulasi sebagai berikut:

#### 1. Pengukuran dengan metode dc test

Tahapan pengujian ini dilakukan dengan menghubungkan kumparan jangkar ( $R_a$ ) dan kumparan medan ( $R_f$ ) pada sumber dc, kemudian diukur nilai tegangan dan nilai arus pada motor. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai resistansi dari kumparan jangkar dan resistansi dari kumparan medan pada motor dc yang dapat dihitung dengan persamaan (1) dan (2).

$$R_a = \frac{V_a}{I_a} \quad (1)$$

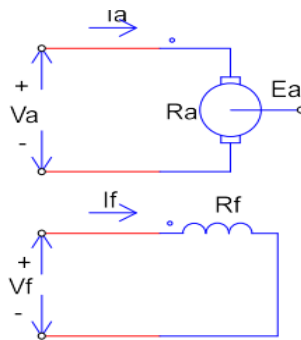
$$R_f = \frac{V_f}{I_f} \quad (2)$$

## 2. Pengukuran dengan metode *no load test*

Tahapan pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai konstanta tegangan (kv) pada motor dc penguat terpisah pada kondisi tegangan nominal dengan motor tanpa beban yang dapat dihitung dengan persamaan (3), (4) dan (5).

$$K_v = \frac{V_a - (I_a \times R_a)}{n \times \phi} \quad (3)$$

Setelah melakukan tahapan pengujian untuk mendapatkan nilai parameter motor dc penguat terpisah, selanjutnya nilai dari parameter tersebut disimulasikan dengan menggunakan *software* PSIM. Untuk rangkaian ekivalen motor dc penguat terpisah dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian ekivalen motor dc penguat terpisah

## 3. Prinsip Percepatan Motor DC

Didalam dunia listrik beban esensial yang sering digunakan adalah beban RL, konsep teoritis yang selalu digunakan adalah beban dalam kondisi ideal, dengan asumsi beban yang sangat induktif yang dapat dilihat pada persamaan [7].

Tegangan rata-rata jangkar

$$V_a = K V_s \quad (4)$$

Dimana K adalah duty cycle dari dc chopper

Daya yang dialirkan ke motor

$$P_o = K V_s \cdot I_a = V_a \cdot I_a \quad (5)$$

Dimana  $I_a$  adalah arus rata-rata jangkar motor

Nilai rata-rata arus input

$$I_s = K \times I_a \quad (6)$$

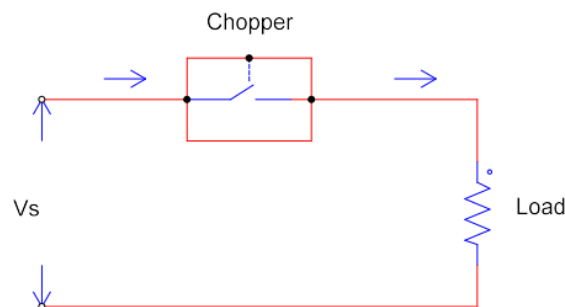
Kecepatan motor dc

$$N = \frac{Vt - I_a \times R_a}{K \cdot \theta} \quad (7)$$

Berdasarkan persamaan diatas, dengan memvariasikan duty cycle  $K$ , aliran daya dan kecepatan pada motor dapat dikontrol.

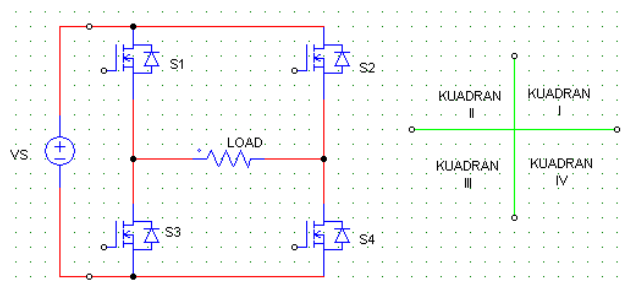
### Prinsip Operasi DC Chopper

*Dc chopper* adalah perangkat elektronika daya yang bersifat statis, fungsi utama dari *dc chopper* ini adalah mengubah tegangan dc konstan menjadi tegangan dc yang dapat disesuaikan tanpa elemen penyimpan energi perantara (induktor/kapasitor). Sederhananya *dc chopper* akan memotong (mencacah) tegangan input pada durasi tertentu sehingga menghasilkan tegangan output variabel. Prinsip dasar operasi *dc chopper* dapat dilihat pada gambar 3 dengan menggunakan saklar semikonduktor tunggal.



Gambar 3. Prinsip operasi *chopper*

*Dc chopper* 4 kuadran juga dikenal sebagai *H-Bridge Chopper*, yang terdiri dari 4 sirkuit utama yang berbentuk huruf H, biasanya sirkuit yang digunakan adalah perangkat semikonduktor berupa *MOSFET*, transistor dan *thyristor* yang merupakan sebuah perangkat yang dapat melakukan *switching* pada frekuensi tinggi dengan penurunan tegangan yang relatif rendah. Prinsip operasi *dc chopper* 4 kuadran dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram rangkaian 4 kuadran

Dalam pengaturan *switching* pada masing-masing kuadran dapat diklasifikasikan sebagai berikut.

Kuadran I : S1 modulasi, S4 tetap aktif, S2 dan S3 mati

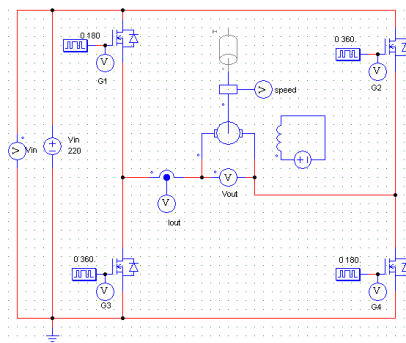
Kuadran II : S2 tetap aktif dan S1, S3, S4 mati

Kuadran III : S2 modulasi, S3 tetap aktif, S1 dan S4 mati

Kuadran IV : S4 tetap aktif, S1, S2, S3 mati

## HASIL DAN PEMBAHASAN

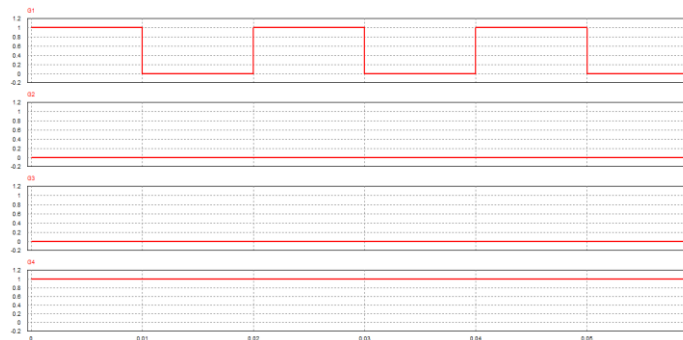
Pada penelitian ini dilakukan percobaan dengan menggunakan *software* PSIM pada rangkaian *dc chopper* 4 kuadran yang sudah dimodelkan. Pengamatan dilakukan pada kuadran I, kuadran II, kuadran III dan kuadran IV untuk melihat karakteristik arah putaran motor dan pengereman pada motor, kemudian kita akan melihat perbandingan arus start pada motor saat diberikan tegangan tegangan 220 volt dan 15 volt. Untuk gambar rangkaian secara keseluruhan dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Rangkaian percobaan

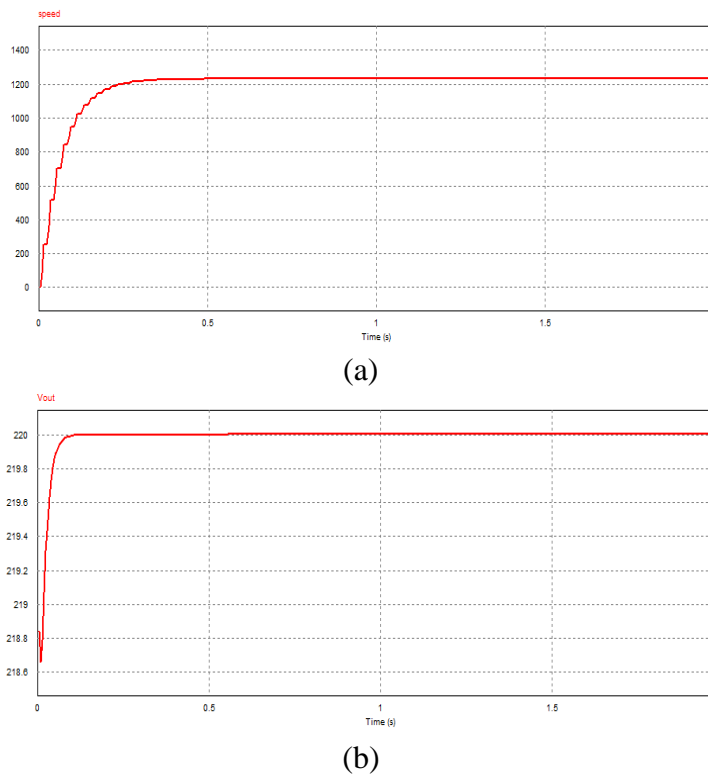
### Simulasi kuadran I (*forward*)

Simulasi pada kuadran I dilakukan dengan S1 dalam keadaan modulasi, S4 tetap aktif, S2 dan S3 mati, untuk sinyal *switching* pada kuadran I dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Sinyal *switching* pada kuadran I

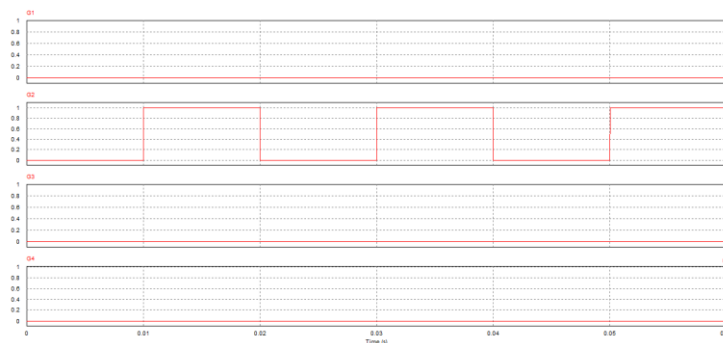
Dari percobaan yang dilakukan pada kuadran I menghasilkan putaran motor bernilai positif (+) yang artinya motor berputar searah dengan jarum jam dengan tegangan bernilai positif (+), untuk hasil pengamatan dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Sinyal percobaan pada kuadran I (a). kecepatan (b). tegangan

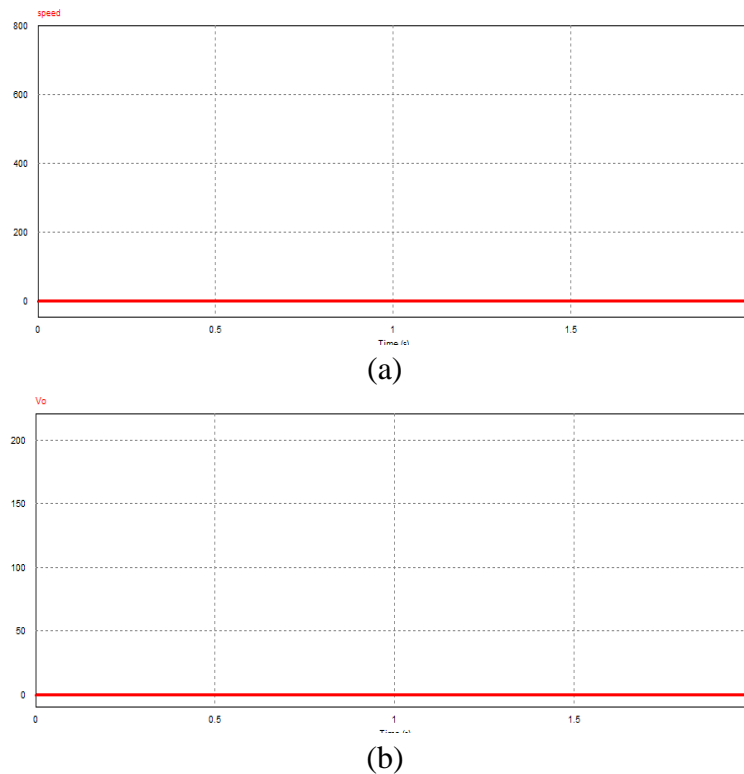
### Simulasi Kuadran II (*breaking*)

Simulasi pada kuadran II dilakukan dengan S2 dalam keadaan modulasi, S1, S3, dan S4 dalam keadaan mati, untuk sinyal switching pada kuadran II dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Sinyal *switching* pada kuadran II

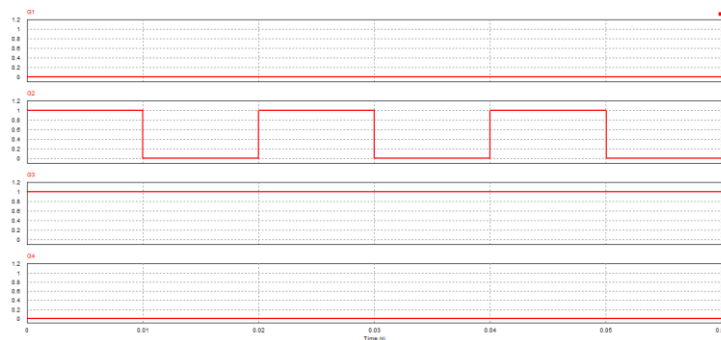
Percobaan yang dilakukan pada kuadran II, putaran motor bernilai 0 yang berarti motor dalam keadaan pengereman (*breaking*) dengan tegangan bernilai 0 V. untuk sinyal percobaan dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Sinyal percobaan pada kuadran II (a). kecepatan (b). tegangan

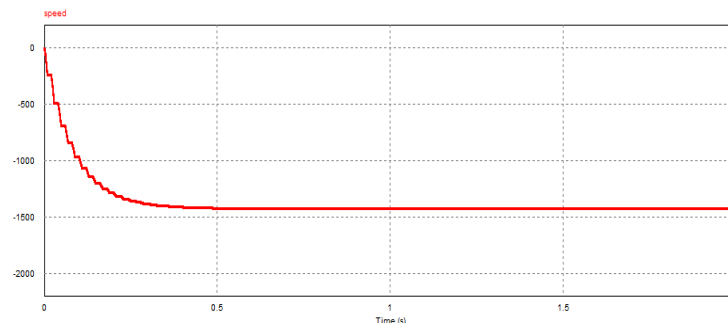
### Simulasi Kuadran III (*reverse*)

Percobaan pada kuadran III dilakukan dengan S2 dalam keadaan modulasi, S3 tetap aktif, S1 dan S4 dalam keadaan mati. Untuk sinyal switching kuadran III dapat dilihat pada gambar 10.

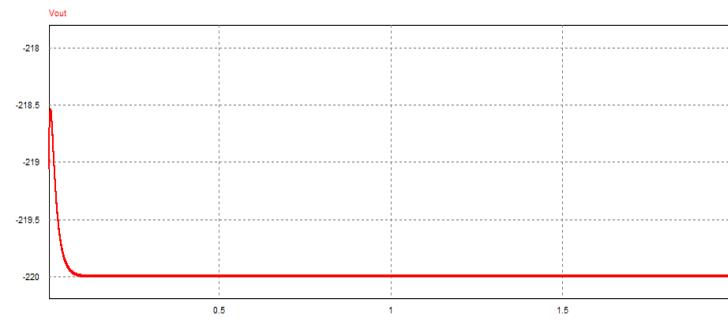


Gambar 10. Sinyal *switching* pada kuadran III

Karakteristik motor pada Percobaan yang dilakukan pada kuadran III menghasilkan nilai putaran motor bernilai negatif (-) yang berarti arah putaran motor berlawanan arah jarum jam dengan tegangan bernilai negatif (-). Untuk sinyal percobaan dapat dilihat pada gambar 11.



(a)

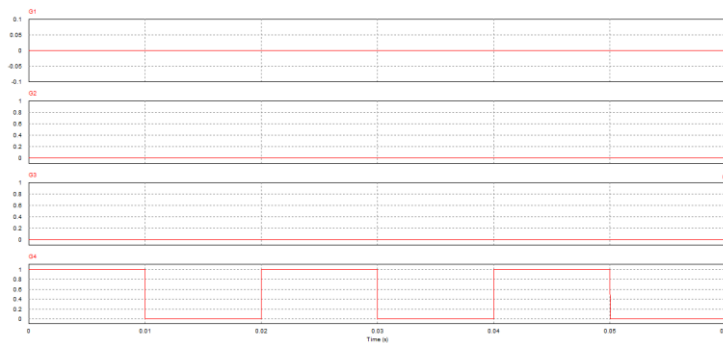


(b)

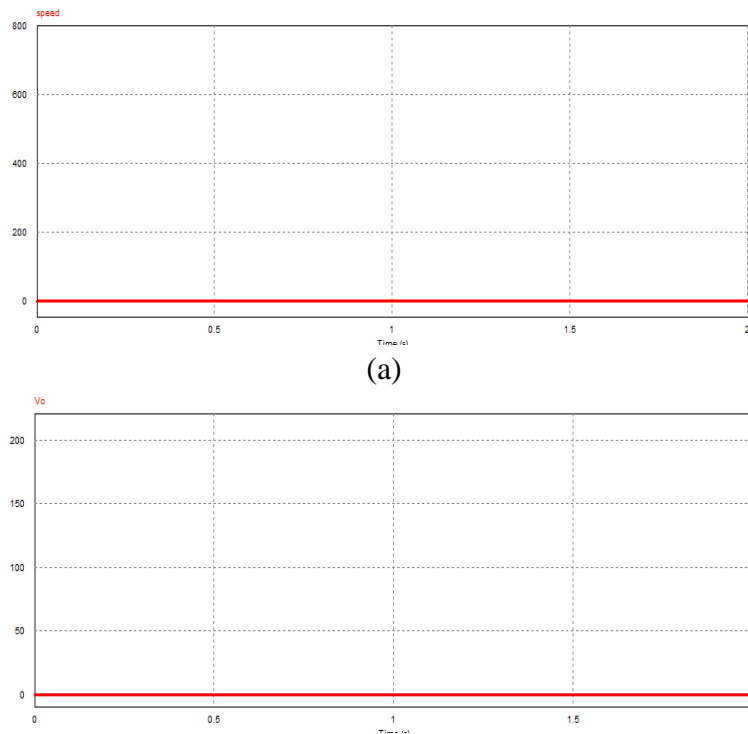
Gambar 11. Sinyal percobaan pada kuadran III

#### Simulasi Kuadran IV (*breaking*)

Percobaan pada kuadran IV dilakukan dengan S4 dalam keadaan modulasi, S1, S2 dan S3 dalam keadaan mati. Untuk sinyal *switching* pada kuadran IV dapat dilihat pada gambar 12.

Gambar 12. Sinyal *switching* kuadran IV

Percobaan yang dilakukan pada kuadran IV, sinyal kecepatan bernilai 0 yang berarti motor dalam keadaan pengereman (*breaking*) dengan tegangan bernilai 0 V. Untuk sinyal percobaan dapat dilihat pada gambar 13.



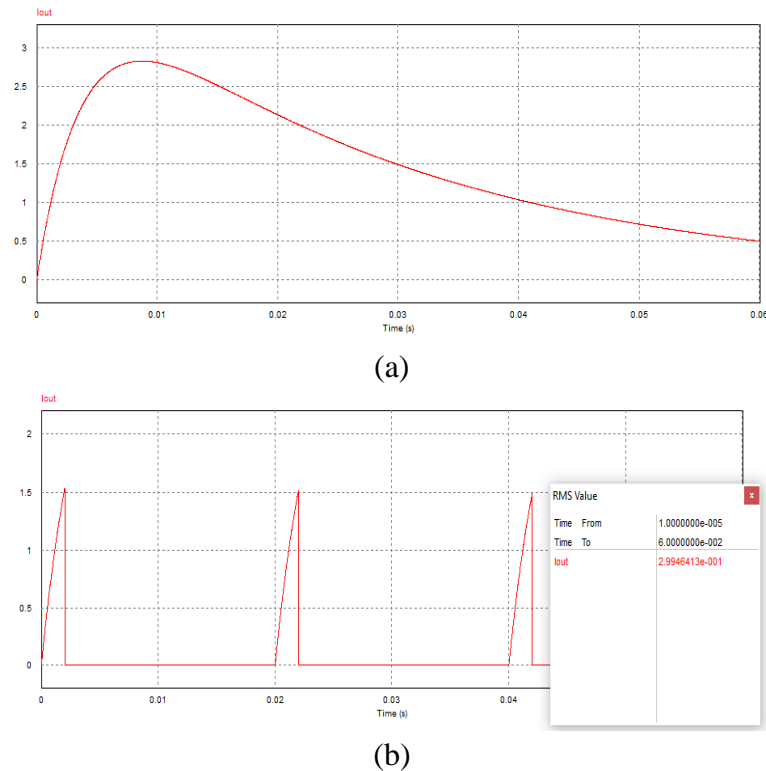
Gambar 13. Sinyal percobaan pada kuadran IV (a). kecepatan (b). tegangan

Untuk melihat perubahan kecepatan motor terhadap tegangan, percobaan dilakukan dengan memvariasikan tegangan output *dc chopper* dengan mengubah nilai sudut penyalan pada *MOSFET* yang modulasi. Untuk data lengkapnya bisa dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Kecepatan motor terhadap tegangan

Tegangan (V)	Kecepatan (Rpm)
60	110
80	275
95	435
105	606
116	771
128	955
149	1118
171	1295
192	1443
220	1600

Pada penelitian selanjutnya kita akan melihat perbandingan antara arus start pada motor saat diberi tegangan 220 volt dan 15 volt yang dapat dilihat pada gambar 14.



Gambar 14. Perbandingan arus *start* motor (a).tegangan 220v (b). tegangan 15v

Gambar 14 merupakan perbandingan antara arus *start* pada motor saat diberi tegangan 220 volt, dimana lonjakan arus yang terjadi sangat besar secara berkelanjutan yaitu 3,8 A. dengan kondisi ini akan beresiko terhadap kondisi perangkat, sedangkan pada saat motor diberikan tegangan 15 volt, dapat dilihat dimana arus yang dihasilkan bersifat putus-putus dengan arus rata-rata yang sangat kecil yaitu 0,29 Ampere.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian dari pemodelan *driver* motor dc dengan *dc-dc chopper* menggunakan *software* PSIM, dari beberapa simulasi dan percobaan yang sudah dilakukan dapat diambil kesimpulan, bahwa *dc chooper* 4 kuadran merupakan sebuah sistem yang dapat mengoperasikan motor dc dalam kondisi *forward*, *break* dan *reverse* dimana pemodelan *driver* motor dc dapat mempengaruhi karakteristik motor dc dengan mengubah tegangan konstan menjadi tegangan yang bervariasi sehingga menghasilkan kecepatan motor yang bervariasi, selain itu *driver* motor dc mampu mengubah arah dari putaran motor dengan arus start yang lebih kecil.

## REFERENSI

- [1] A. A. A. Ismail and A. Elnady, "Advanced Drive System for DC Motor Using Multilevel DC/DC Buck Converter Circuit," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 54167–54178, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2912315.
- [2] M. M. Zaid and J. S. Ro, "Switch ladder modified h-bridge multilevel inverter with novel pulse width modulation technique," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 102073–102086, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2930720.

- [3] A. S. Semenov, V. M. Khubieva, and Y. S. Kharitonov, “Mathematical modeling of static and dynamic modes DC motors in *software* package MATLAB,” *2018 Int. Russ. Autom. Conf. RusAutoCon 2018*, pp. 1–5, 2018, doi: 10.1109/RUSAUTOCON.2018.8501666.
- [4] N. Parhizkar, M. Shafiei, and M. B. Kouhshahi, “Direct torque control of brushless DC motor drives with reduced starting current using fuzzy logic controller,” *Proc. Int. Conf. Uncertain. Reason. Knowl. Eng. URKE 2011*, vol. 1, pp. 129–132, 2011, doi: 10.1109/URKE.2011.6007863.
- [5] S. Arof, N. M. Noor, F. Elias, P. A. Mawby, and H. Arof, “Investigation of *Chopper* Operation of New Series Motor Four Quadrants Drive *Dc chopper* for DC Drive Electric Car,” vol. 7, no. May, pp. 49–56, 2017.
- [6] S. Arof, J. A. Jalil, N. S. Kamaruddin, N. M. Yaakop, P. A. Mawby, and A. Hamzah, “Series motor four quadrants drive *Dc chopper* part2: Driving and reverse mode with direct current control,” *PECON 2016 - 2016 IEEE 6th Int. Conf. Power Energy, Conf. Proceeding*, no. 1, pp. 775–780, 2017, doi: 10.1109/PECON.2016.7951663.
- [7] A. K. Verma, “Performance Study of Power Control Method for *Chopper* Fed Separately Excited DC ( Direct Current ) -Drive using PSIM,” vol. 2013, no. Cac2s, pp. 290–296, 2013.
- [8] C. Stancu, T. Ward, K. M. Rahman, R. Dawsey, and P. Savagian, “Separately Excited Synchronous Motor With Rotary Transformer for Hybrid Vehicle Application,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 54, no. 1, pp. 223–232, 2018, doi: 10.1109/TIA.2017.2757019.
- [9] S. Marinkov and B. De Jager, “Four-Quadrant Control of 4/2 Switched Reluctance Machines,” *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 63, no. 12, pp. 7393–7403, 2016, doi: 10.1109/TIE.2016.2594049.
- [10] R. K. Ratnesh *et al.*, “Advancement and challenges in *MOSFET* scaling,” *Mater. Sci. Semicond. Process.*, vol. 134, no. April, p. 106002, 2021, doi: 10.1016/j.mssp.2021.106002.
- [11] 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.