

PERANCANGAN PENGONTROLAN MOTOR DC MENGGUNAKAN DC – DC KONVERTER CLASS C MODE MOTORING DAN REGENERATIVE BREAKING UNTUK SIMULASI KENDARAAN LISTRIK

Cahya Ibrahim^{*)}, Tejo Sukmadi, and Agung Nugroho

Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}Email : cahyaibrahimelektro11@gmail.com

Abstrak

Konverter DC-DC atau DC Chopper adalah aplikasi dari rangkaian elektronika daya. Salah satu tipe dari DC Chopper yaitu Chopper Class C Chopper dapat di aplikasikan pada kendaraan listrik karena dapat bekerja secara motoring dan regenerative breaking pada arus maupun tegangan kerjanya. Kendaraan listrik membutuhkan rangkaian kendali (controller) yang digunakan untuk mengontrol kecepatan kendaraan listrik. Pada penelitian ini telah dirancang konverter DC-DC untuk simulasi kendaraan listrik bertopologi Chopper Class C menggunakan controller pembangkitan PWM analog IC TL494. Penelitian ini membahas mengenai kuadran kerja dari Chopper Class C dan membahas metode pembangkitan sinyal pemicuan PWM menggunakan controller analog dengan berbasis IC TL 494 serta aplikasi kendaraan listrik pada saat motoring dan regenerative breaking. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan kontrol PWM Pada pengujian menggunakan kontrol PWM Analog dengan range duty cycle 20-90% di dapatkan efisiensi maksimal yaitu sebesar 57.24% pada mode motoring pada tegangan 6,92V dan arus 0,29 A dan 90,7% Pada pengujian menggunakan kontrol PWM Analog dengan range duty cycle 20-90% di dapatkan efisiensi maksimal yaitu sebesar 0,0260% pada mode Breaking pada tegangan panel surya 11,68 V dan arus 0,68 A menghasilkan tegangan charging maksimal sebesar 9,44 V arus charging sebesar -0,39A

Kata kunci: Kendaraan listrik, Chopper Class C Motoring dan Regenerative Breaking

Abstract

DC-DC converter or DC Chopper is the application of power electronics circuits. One type of DC Chopper Chopper Class C Chopper that can be applied in electric vehicles because it can work motoring and regenerative breaking on current and working voltage. The electric vehicle requires a control circuit (controller) is used to control the speed of vehicles listrik. Pada this thesis has designed the DC-DC converters for electric vehicle simulation bertopologi Chopper Class C using analog PWM controller IC TL494 generation. This study discusses Two quadrant of Chopper Class C and discuss methods of generating PWM signals triggered using an analog controller with TL 494 and IC-based applications kendaraan listrik when motoring and regenerative breaking. Berdasarkan test results using PWM control In PWM control testing using Analog range 20-90% duty cycle at get the maximum efficiency that is equal to 57.24% in the motoring mode 6,92V voltage and current of 0.29 A and 90.7% in testing using Analog PWM control with a duty cycle range 20-90% in get efficiency the maximum is equal to 0.0260% on the mode of Breaking the solar panel voltage of 11.68 V and 0.68 A current generating charging voltage of 9.44 V maximum charging current of -0,39A.

Keywords: Electric vehicles, Chopper Class C, Motoring and Regenerative Breaking

1. Pendahuluan

Konverter DC-DC atau DC Chopper adalah aplikasi dari rangkaian elektronika daya. DC Chopper sering digunakan sebagai regulator tegangan. Untuk menurunkan nilai tegangan DC maupun menaikkan nilai tegangan DC, sesuai dengan tipenya [1]. Salah satu tipe dari DC Chopper yaitu Chopper class C. Chopper class C

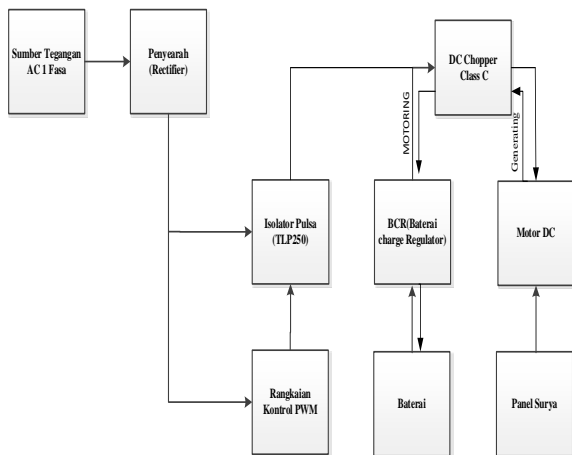
merupakan DC Chopper yang dapat bekerja secara bidirectional pada arus maupun tegangan kerjanya atau memiliki 2 kuadran kerja, sehingga dapat di aplikasikan pada kendaraan listrik [2], [3].

Kendaraan listrik (*electric vehicle*) adalah kendaraan yang menggunakan satu atau lebih motor listrik sebagai tenaga penggeraknya. Secara umum kendaraan listrik (*electric*

vehicle) terdapat beberapa komponen utama yaitu baterai (akumulator), motor listrik, rangkaian kendali (*controller*) dan rangkaian elektronika daya (*converter/inverter*) [4], [5]. Kendaraan listrik (*electric vehicle*) membutuhkan rangkaian kendali (*controller*) yang digunakan untuk mengatur kecepatan dari kendaraan listrik. Pada penelitian ini telah dirancang konverter DC-DC berbasis rangkaian *Chopper class C* dengan menggunakan *controller* pemucuan PWM analog untuk simulasi kendaraan listrik. Penelitian membahas mengenai kinerja dari rangkaian *Chopper class C* dengan beban motor listrik DC magnet permanen menggunakan pemucuan PWM menggunakan *controller* analog dengan IC TL 494. dan proses pengisian baterai pada saat proses pengereman

2. Metode

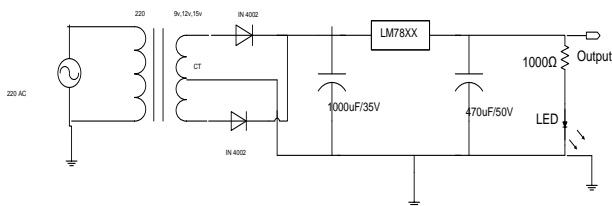
Perancangan penelitian ini terdiri dari rangkaian penyearah (*rectifier*) trafo CT, rangkaian *Chopper class C*, rangkaian kontrol PWM dengan IC TL 494, rangkaian *driver* dan isolator pulsa (TLP 250 dan Rangkaian Totempole), Baterai ,Panel surya dan motor DC.



Gambar 1. Blok diagram perancangan alat

2.1. Perancangan Penyearah Gelombang Penuh Satu Fasa dengan Center Tap

Pada rangkaian ini terdapat 2 penyearah satu fasa dengan CT, dioda, regulator tegangan, kapasitor, resistor dan LED seperti yang tertera pada Gambar 2.



Gambar 2. Penyearah gelombang penuh satu fasa CT. Rangkaian ini menghasilkan sumber tegangan DC 15V. Tegangan 15V berfungsi sebagai suplai untuk rangkaian

Kipas pendingin , 15V untuk suplai rangkaian pemucuan PWM analog IC TL 494 dan rangkaian driver totem-pole transistor sedangkan tegangan 15V berfungsi sebagai *supply* rangkaian driver TLP250 .

2.2. Modul Sel Surya

Modul sel surya merupakan salah satu teknologi terbaru yang memanfaatkan energi cahaya matahari dan mengubahnya menjadi energi listrik searah DC (*Direct Current*). Pada penelitian ini digunakan modul sel surya untuk mensuplai motor dc sebagai penggerak beban motor DC yang terhubung pada rangkaian *Chopper Class C* yang bertujuan untuk simulasi saat kendaraan berada pada jalan yang menurun atau pada saat mode *generating* sampai *breaking* .



Gambar 3. modul sel surya



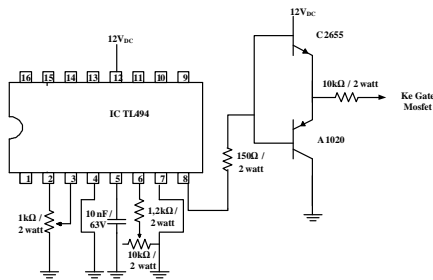
Gambar 4 Name plate sel surya.

Dari *name plate* pada gambar 4 di atas dapat ditentukan nilai untuk mengisi parameter pada *solar* modul. Memiliki beberapa parameter penting adalah tegangan *open circuit* (*Voc*), arus *short circuit* (*Isc*), tegangan *maximum point* (*Vmp*), arus *maximum point* (*Imp*), *Standart light intensity* (W/m^2), dan suhu

2.3. Pemucuan PWM Analog dengan IC TL494

Rangkaian PWM Chopper class C menggunakan IC TL494. Rangkaian kontrol PWM digunakan untuk memicu *switching*, lebar pulsa menunjukkan *duty cyle* dari rangkaian *DC Chopper*. Pada penelitian ini digunakan IC TL494 sebagai komponen utama pembangkit tegangan pulsa termodulasi (PWM) analog dan rangkaian *totempole* sebagai rangkaian *driver* IC ini

merupakan komponen terintegrasi yang memiliki 16 pin dalam dua jalur (*Dual In Package*), DIP

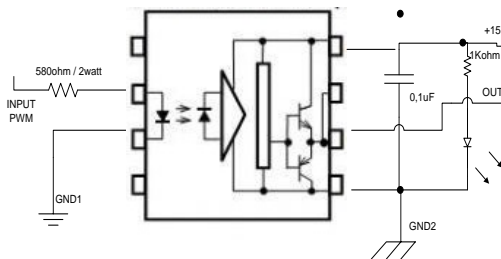


Gambar 5. Rangkaian Pemicuan PWM Analog (IC TL494)

Keluaran IC TL494 dihubungkan dengan rangkaian totempole untuk memperkuat sinyal PWM yang dihasilkan lalu dihubungkan ke gate MOSFET

2.4. Rangkaian Driver TLP250

Rangkaian TLP 250 digunakan untuk mengisolasi dan menguatkan sinyal PWM (Pulse Width Modulation) menjadi level tegangan yang lebih tinggi dengan sistem ground terpisah (level tegangan 15v) dan cukup untuk memicu MOSFET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor).



Gambar 6. Rangkaian TLP250.

2.5. Perancangan Rangkaian Daya

2.5.1. Perancangan Supply Daya Chopper Class C

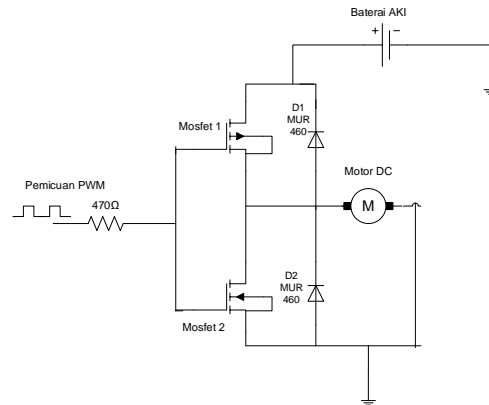
Dalam perancangan rangkaian supply utama saat mode *motoring* dibutuhkan sumber tegangan DC yang berasal dari akumulator 12V serta Modul Sel surya pada saat mode *generating*.

2.5.2. Chopper class C

DC Chopper yang digunakan pada penelitian ini adalah *Chopper Class C*. *Chopper* tipe ini yang mempunyai karakteristik tegangan keluaran lebih kecil dari tegangan masukan dan mempunyai 2 kuadran kerja. Spesifikasi Chopper class C adalah sebagai berikut :

- Tegangan masukan : 12 Vdc
- Tegangan keluaran : 12 Vdc
- Frekuensi *Switching* : 7,9-9,2 kHz

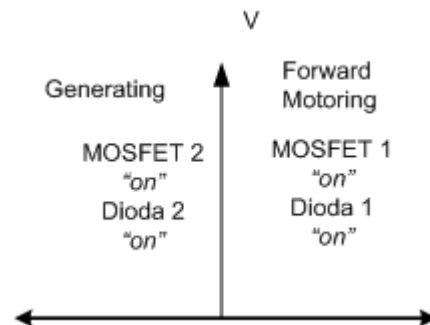
- Beban : Motor DC
-



Gambar 7. Rangkaian Chopper Class C

Pada gambar 7 terlihat MOSFET 1 dan MOSFET 2 yang bekerja bergantian yang diatur oleh saklar karena kedua MOSFET mempunyai karakteristik tegangan *gate* yang sama. Serta dapat menghindari MOSFET 1 dan 2 tidak bekerja secara bersama karena dapat menyebabkan hubung singkat (*short circuit*) karena arus yang cukup besar akan mengalir langsung dari sumber ke *ground*.

Sistem kerja MOSFET 1 dan MOSFET 2 bekerja secara berlawanan. Jika rangkaian chopper dipicu sinyal PWM pada MOSFET 1 maka MOSFET 2 akan "off" dan MOSFET 1 akan "on" dan jika MOSFET 2 terpicu sinyal PWM maka MOSFET 2 akan "on" dan MOSFET 1 akan "off" maka motor akan berputar setelah itu melakukan *breaking*. Untuk mengetahui sistem kerja MOSFET pada *Chopper Class C*.

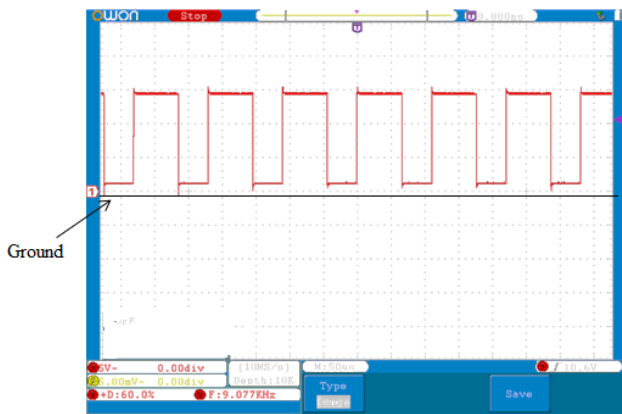


Gambar 8. Kuadran kerja Rangkaian Chopper class C

3. Hasil dan Analisis

3.1. Pengujian Rangkaian Kontrol IC TL 494

Pengujian rangkaian kontrol meliputi pengujian keluaran gelombang PWM IC TL494.

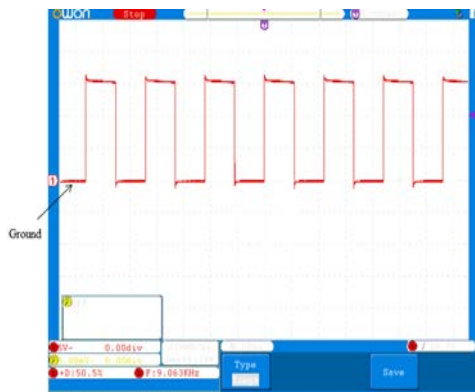


Gambar 9. Sinyal PWM IC TL 494 probe x10

Gambar 9 menunjukkan gelombang keluaran PWM analog dapat diketahui tegangan maksimal sudah di atas tegangan kerja MOSFET (gate source voltage / V_{GS}) yaitu 15 Volt. Ini sudah cukup untuk memicu MOSFET bekerja.

3.2. Pengujian Rangkaian Driver TLP 250

Pengujian Rangkaian driver TLP250 berfungsi sebagai rangkaian pemisah dan pelindung rangkaian pemicuan PWM (Pulse Width Modulation) IC TL 494 dengan rangkaian daya Chopper Class C. Sinyal pemicuan dari rangkaian kontrol PWM dihubungkan dengan rangkaian TLP250 dan selanjutnya dihubungkan ke gate MOSFET untuk memicu MOSFET.



Gambar 10. Sinyal Output Driver TLP 250

Gambar 10 menunjukkan gelombang keluaran Driver dapat dilihat gelombang keluaran dari TLP250 hampir membentuk kotak dan yaitu 15 volt ($1,8 \text{ div} \times 10 \text{ V/div}$), sesuai dengan nilai tegangan power supply untuk IC TLP250.

3.3. Pengujian Chopper Class C

3.3.1. Pemicuan PWM Digital (Mode Motoring)

Pengujian Chopper Class C dilakukan untuk mengukur tegangan keluaran, arus keluaran, tegangan masukan, arus masukan dan kecepatan putar motor DC. Pengujian juga

dilakukan untuk mendapatkan efisiensi konverter. Pengujian rangkaian Chopper Class C di bagi berdasarkan jenis kuadran kerja rangkaian Chopper Class C yaitu saat motoring dan breaking dengan menggunakan satu jenis pemicuan PWM analog. Dari pengujian ini mensimulasikan kendaraan listrik (electric vehicle) pada saat keadaan maju (forward), pengereman (breaking) dan saat kendaraan pada keadaan melewati jalan turunan maka dapat melakukan charging pada battery. Contoh implementasi ini dapat dijumpai pada sistem elektrik pada kereta api. Pada saat kereta api melalui lintasan yang datar, mesin memberikan tenaga pada motor, proses ini disebut juga dengan motoring. Sedangkan proses pengereman itu sendiri terjadi pada saat kereta api melalui lintasan menurun, saat mesin (motor DC) mengerem (hanya terjadi saat kecepatan melebihi kecepatan saat motoring). Energi yang dihasilkan dapat dikembalikan ke sistem kelistrikan atau dibuang.

3.3.2. Pengujian Mode Motoring Pemicuan PWM Analog

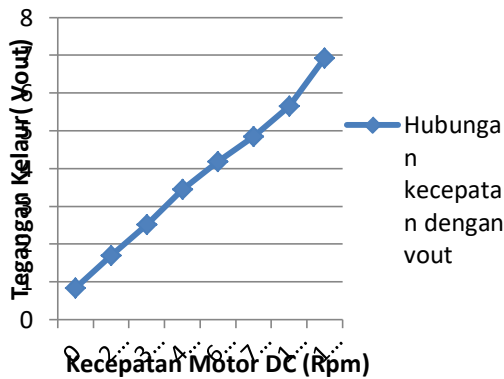
Pengujian yang dilakukan pada mode ini yaitu mengukur tegangan keluaran, arus keluaran, tegangan masukan, arus masukan dan kecepatan putar motor DC menggunakan Tachometer dengan variasi duty cycle dengan mengatur potensiometer dengan range 10-90%. sesuai yang di input. Pengujian ini juga mencari efisiensi rangkaian Chopper Class saat bekerja pada mode motoring

Tabel 1. Pengujian Chopper Class C Mode Motoring Maju Pemicuan PWM Analog.

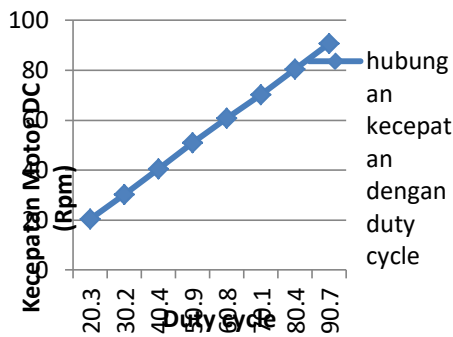
No	Duty cycle (%)	V_{in} (V)	I_{in} (A)	V_o (V)	I_o (A)	N (Rpm)
1	20,3	11,67	0,13	0,83	0,17	0
2	30,2	11,68	0,14	1,69	0,15	21
3	40,4	11,67	0,16	2,52	0,14	353
4	50,9	11,69	0,16	3,45	0,16	468
5	60,8	11,68	0,21	4,18	0,17	643
6	70,1	11,68	0,23	4,85	0,17	726
7	80,4	11,67	0,30	5,65	0,21	1053
8	90,7	11,68	0,30	6,92	0,29	1171

Berdasarkan Tabel 1 terlihat bahwa pada kenaikan duty cycle mempengaruhi nilai dari tegangan dan arus keluaran konverter Chopper Class C serta putaran dari motor DC.

Saat tegangan input mendekati konstan, maka tegangan output akan meningkat proporsional terhadap Kenaikan tegangan output demikian data hasil pengujian telah sesuai dengan perancangan dan teori yang digunakan.



Gambar 11. Hubungan kecepatan dengan tegangan keluar



Gambar 12. Grafik perbandingan Kecepatan dengan duty cycle keluar mode *Motoring*

Pada gambar 12 grafik perbandingan Duty cycle dengan kecepatan motor DC mode *Motoring* pada saat Duty cycle *input* meningkat.

3.3.3. Perhitungan Efisiensi Chopper Class C Pemicuan PWM Analog saat *Motoring*

Berdasarkan Tabel 1 dapat dilakukan perhitungan efisiensi *Chopper Class C*, dengan menggunakan Persamaan.

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

dimana: $P_{in} = V_{in} \times I_{in}$
 $P_{out} = V_{out} \times I_{out}$

Hasil perhitungan efisiensi pada percobaan mode *motoring* pada pemicuan PWM Analog untuk percobaan dengan variasi *duty cycle* yang lain dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini

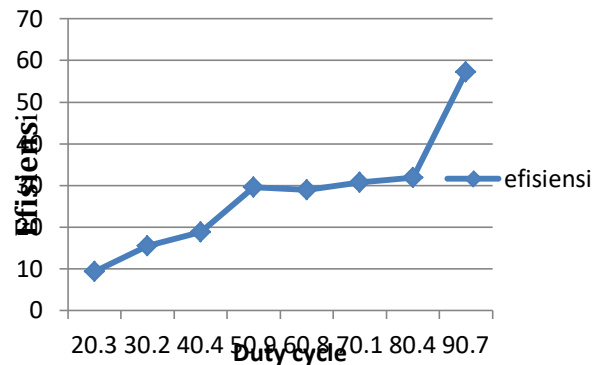
Tabel 2. Perhitungan Efisiensi *Chopper Class C* Mode *Motoring* Pemicuan Analog.

No	Duty cycle (%)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi (%)
1	20,3	1,5171	0.1411	9.3
2	30,2	1,6352	0.2535	15.47
3	40,4	1,8672	0.3528	18.85
4	50,9	1,8704	0.552	29.51

Lanjutan Tabel. 2

5	60,8	2,4528	0.7106	28.95
6	70,1	2,6864	0.8245	30.67
7	80,4	3,501	1.1865	31.93
8	90,7	3,504	2.0068	57.24

Berdasarkan data efisiensi pada Tabel 1 dan 2 dapat di gambarkan kurva perbandingan antara efisiensi dan duty cycle pada mode *motoring* yang di tampilkan pada gambar 12 berikut.



Gambar 13. Grafik perbandingan efisiensi dan duty cycle mode *Motoring*

Berdasarkan Gambar 13 terlihat bahwa kurva efisiensi *Chopper class C* pada mode *motoring* yaitu proporsional terhadap *duty cycle* yang digunakan, semakin besar *duty cycle* semakin tinggi efisiensi *Chopper Class C*. Karena sesuai persamaan (2.1) yaitu $V_L = V_S D$ oleh karena itu daya *output* rangkaian (P_{out}) akan semakin besar, maka efisiensi terbaik pada pemicuan PWM didapat dari pengujian *duty cycle* terbesar yaitu 0,90 diperoleh nilai efisiensi sebesar 57.24%.

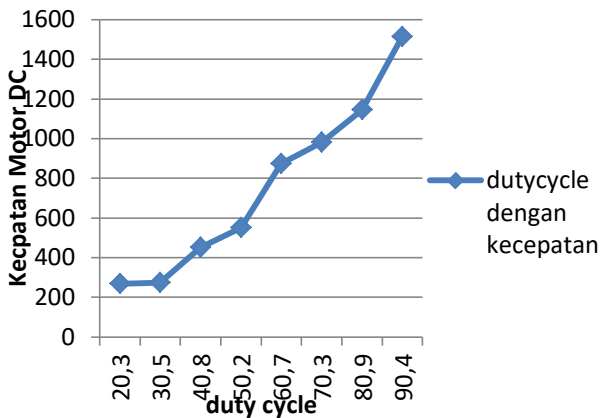
3.3.4. Pengujian Mode *Regenerative braking*

Pengujian yang dilakukan pada mode ini yaitu mengukur tegangan keluaran pada *panel surya*, tegangan *charging* dan arus *charging* yang mengalir ke *battery* serta kecepatan putar motor DC

Tabel 3. Pengujian *Chopper class C* Mode *Breaking* Pemicuan PWM Analog

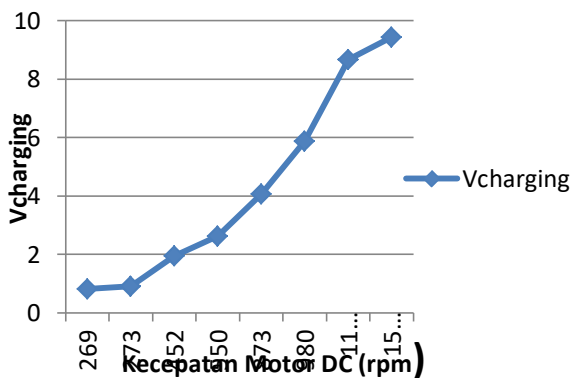
No	Duty cycle (%)	Sumber panel surya (V)	$V_{Charging}$ (V)	$I_{Charging}$ (V)	N (Rpm)
1	20,3	11,69	0,82	-0,03	269
2	30,5	11,70	0,92	-0,04	273
3	40,8	11,68	1,95	-0,04	452
4	50,2	11,69	2,62	-0,12	550
5	60,7	11,68	4,08	-0,13	873
6	70,3	11,69	5,88	-0,25	980
7	80,9	11,70	8,67	-0,34	1144
8	80,4	11,69	9,44	-0,39	1513

Pada mode *Breaking* digunakan sumber Akumulator 12 V karena tegangan *charging* maksimal yang dapat dihasilkan oleh modul generator DC yaitu sebesar 9,44 V maka jika menggunakan sumber akumulator 12 V rangkaian *Chopper Class C* tidak dapat melakukan *charging* karena tegangan *charging* lebih rendah di bandingkan tegangan pada sisi sumber Berdasarkan data pengujian pada Tabel .3 dapat di gambarkan kurva perbandingan tegangan dan arus *charging* terhadap kecepatan Motor DC



Gambar 14. Grafik perbandingan duty cycle dan kecepatan motor dc mode *Breaking*

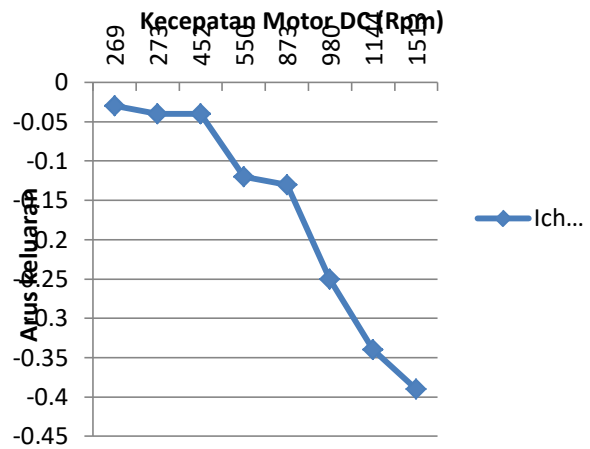
pada gambar 13 grafik perbandingan Duty cycle dengan kecepatan motor DC mode *breaking* pada saat Duty cycle *input* meningkat , maka kecepatan motor DC akan meningkat



Gambar 15. Grafik Perbandingan tegangan *charging* terhadap kecepatan pada pemicuan PWM analog

Berdasarkan Gambar 15 dan Gambar 16 terlihat bahwa grafik perbandingan tegangan *charging* dan arus *charging* terhadap kecepatan motor DC pada mode *generating* yaitu berbanding lurus. Semakin besar kecepatan motor DC semakin tinggi Nilai tegangan dan arus *charging* Tegangan *charging* terbesar pada pemicuan PWM Analog didapat sebesar 9,44 V. Arus *charging*

terbesar pada pemicuan PWM Analog yaitu sebesar 0,39A.



Gambar 16. Grafik Perbandingan arus *charging* terhadap kecepatan Motor DC antara pemicuan PWM analog

3.3.5. Perhitungan Efisiensi Chopper Class C Pemicuan PWM Analog *Breaking*

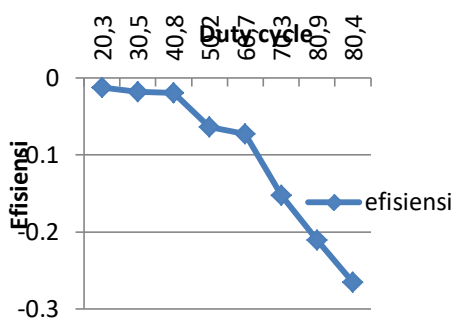
Berdasarkan Tabel 3 dapat dilakukan perhitungan efisiensi *Chopper Class C*, dengan menggunakan Persamaan .Hasil perhitungan efisiensi pada percobaan mode *Breaking* pada pemicuan PWM Analog untuk percobaan pada setiap variasi kecepatan

Tabel 4. Perhitungan Efisiensi *Chopper class C Mode Breaking Pemicuan Analog*

No	Duty cycle (%)	Pin (W)	Pout (W)	Efisiensi (%)
1	20,3	9.5858	0.0123	0,0012
2	30,5	10.764	0.0176	0,0015
3	40,8	22.776	0.0196	0,0083
4	50,2	30.6278	0.0636	0,0021
5	60,7	47.6544	0.0728	0,0015
6	70,3	68.7372	0.1525	0,0212
7	80,9	101.439	0.2108	0,0020
8	80,4	101.439	0.2652	0,0260

Berdasarkan data efisiensi pada Tabel.4 dapat di diketahui efisiensi rangkaian *Chopper class c* antara pemicuan PWM analog pada mode *breaking*. Efisiensi terbaik pada pemicuan PWM digital didapat dari pengujian *duty cycle* 0,9 yaitu sebesar 0,0260%.

Berdasarkan Gambar 15 terlihat bahwa grafik efisiensi *Chopper class C* pada mode *breaking* yaitu proporsional terhadap *duty cycle* yang digunakan, semakin besar *duty cycle* semakin tinggi efisiensi *Chopper Class C*. Karena sesuai persamaan (2.1) yaitu $V_L = V_S D$ oleh karena itu daya *output* rangkaian (P_{out}) akan semakin kecil, maka efisiensi terbaik pada pemicuan PWM didapat dari pengujian *duty cycle* terbesar yaitu 0,90 diperoleh nilai efisiensi sebesar 0,0260%.



Gambar 15. Grafik perbandingan efisiensi dan duty cycle mode *Breaking*

4. Kesimpulan

Perancangan, pengujian dan analisa dengan judul Perancangan Rangkaian *Chopper Class C* Untuk Simulasi Kendaraan Listrik Dengan Pemicuan PWM Analog, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut: Rangkaian *Chopper class C* dapat melakukan kuadran kerja *motoring* yaitu dapat melakukan kuadran kerja *breaking* saat simulasi kendaraan pada jalan turunan. Pembangkitan PWM analog pada IC TL494 dilakukan dengan membandingkan gelombang gigi gergaji sebagai tegangan *carrier* dengan gelombang DC sebagai tegangan referensi. Tegangan keluaran dan arus keluaran rangkaian *Chopper Class C* berbanding lurus terhadap *duty cycle*. Semakin besar nilai *duty cycle* maka akan semakin besar pula tegangan keluaran dan arus keluaran rangkaian *Chopper Class C* serta putaran motor DC. Pada pengujian menggunakan kontrol PWM Analog dengan *range duty cycle* 20-90% di dapatkan efisiensi maksimal yaitu sebesar 57.24% pada mode *motoring* pada tegangan 6,92V dan arus 0,29 A dan 90,7% Pada pengujian menggunakan kontrol PWM Analog dengan *range duty cycle* 20-90% di dapatkan efisiensi maksimal yaitu sebesar 0,0260% pada mode *Breaking* pada tegangan panel surya 11,68 V dan arus 0,68 A menghasilkan tegangan *charging* maksimal sebesar 9,44 V arus *charging* sebesar -0,39A.

Referensi

[1]. Anair, Don. Mahmassani, Amine. "Electric Vehicle Global Warming Emissions and Fuel-Cost Savings across the United States". Union of Concerned Scientists, 2012.

[2]. Archer, Greg. Fergusson, Malcom, "Electric Vehicles in 2013:a Progress Report", Transport And Environment, 2014.

[3]. Rashid, M, "Power Electronics Circuit, Device, and Application 2nd", Prentice-Hall International Inc, 1988

[4]. burse kavitha, shukla siddhalt, jain vikas, "Study of energy saving through regenerative braking in dc drive" Department of electronics Oriental Collage of Technology Bhopal (M.P.) 2009

[5]. Archer, Greg. Fergusson, Malcom, "Electric Vehicles in 2013:a Progress Report", Transport And Environment, 2014.

[6]. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, "Freedom car and vehicle technologies program", U.S. Departement of Energy, 2003

[7]. Global EV Outlook, "Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020", Clean Energy Ministerial, 2013.

[8]. asril "Analisis Sistem Kendali Elektronik Operasi Mesin DC Sistem Kuadran" Teknik Elektro Universitas Negeri Padang

[9]. Gunawan, Putu Nopa, "Penyearah dan Filter".Teknik Elektro Universitas Hasanudin.2012

[10]. Texas Instruments. "TL494 Pulse-Width-Modulation Control Circuits Datasheet".2002

[11]. Toshiba Photocoupler GaAlAs IRED+Photo IC. TLP250, Sheet No: DIN-EN60747-5-2. Jan. (2007).

[12]. Maulana, Eka."Teori Dasar Mosfet", Universitas Brawijaya,2014.

[13]. M.U.Nasih, "Prototipe Alat Pengaman Kendaraan Bermotor Menggunakan Password Dan Sms Berbasis Mikrokontroler At89s52," Teknik Informatika STMIK EL RAHMA, 2013

[14]. Wildi, Theodore."Electrical Machines, Drives, and Power Systems Fifth Edition", Pearson Education Inc, 2002

[15]. Midiarto, Avid, *Chopper 2 kuadran untuk operasi motoring dan regenerative braking*, Universitas Unika Soegijapranata, 2011

[16]. Septayudha, Arie, "Perancangan Inverter Jenis Push-Pull dan On/Off Battery Charger Regulator (BCR) Pada Aplikasi Fotovoltaik Sebagai Sumber Energi Untuk Pompa Air Atau Penerangan", Universitas Diponegoro, 2011

[17]. Setiawan, Eko, "Penggunaan Konverter Jenis Buck Dengan Pemutus Tegangan Otomatis Untuk Pengisi Akumulator" Universitas Diponegoro, 2014

[18]. Byrne, J.Allen, *The Proper Charging of Stationary Lead-Acid Batteries*, Interstate Power Case

[19]. Nuary Nugroho, Difi, *Analisis Pengisian Akumulator Pada Rancang Bangun Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius Untuk Pencatuan Beban Listrik*, Universitas Indonesia, 2011

[20]. Y.Kwe, W.Caisheng, W.Le Yi, S.Kai, "Electric Vehicle Battery Technologies", Electric Vehicle Integration into Modern Power Networks, 2013

[21]. F.Nemry, G.Leduc, A.Munoz. "State of the Research and Development and Comparative Analysis of Energy and Cost Efficiency", Institute for Prospective Technological Studies, 2009.

[22]. J.Larminie dan J.Lowry, "Electric Vehicle Technology Explained", John Wiley&Sons, Ltd.England, 2003

[23]. Damini Singh, Santosh Kumar,S.Thakur "A Technique to Simulate Two Quadrant DC Chopper Fed Drives" Department of electronics Oriental Collage of Technology Bhopal (M.P.)2014

[24]. Rajdip Singh, Raju Yanamshetti, Premakumar Wagg "Bidirectional Chopper Fed Electric Drive" Department of electronics Oriental Collage of Technology Bhopal (M.P.)