

Perancangan dan Realisasi Konverter Jembatan Penuh sebagai Pengaturan Kecepatan Putaran Motor Berbasis *Microcontroller* Atmega 8535

WAHYUDI¹, SYAHRIAL¹, SITI SAODAH²

1. Jurusan Teknik Elektro Institut Teknologi Nasional Bandung

2. Jurusan Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung

Email : didikwahyudi10@yahoo.com

ABSTRAK

Perkembangan teknologi yang sangat pesat, membuat peralatan elektronik banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Peralatan elektronik tersebut membutuhkan sumber tegangan DC, salah satunya. Konverter dc-dc merupakan alat yang berfungsi untuk meregulasi tegangan dc statis menjadi tegangan dc yang variabel. Konverter jembatan penuh ini dirancang menggunakan trafo centre tap dimana nilai tegangan masukan dinaikkan hingga 2,5 kali, setelah itu disearahkan dengan diode MUR1560 sehingga tegangan yang diterima oleh beban adalah tegangan dc. Beban yang digunakan dalam penelitian ini adalah motor dc magnet permanen dengan daya ½ HP dimana untuk mengatur kecepatan motor magnet permanen ini adalah dengan mengatur lebar pulsa (duty cycle) sinyal PWM (Pulse Widht Modulation) yang dihasilkan dari generator sinyal berupa mikrokontroler ATmega8535. Metode yang digunakan dalam proses switching PWM adalah dengan metode Phase Correct PWM. Pembangkit sinyal dengan mikrokontroler ATmega8535 serta rangkaian optocoupler sebagai rangkaian proteksi antara rangkaian kontrol dengan rangkaian daya. Penggunaan komponen switching dan komponen pasif linier serta transformator center tap akan mempengaruhi hasil tegangan keluaran pada perancangan ini penulis melakukan pengamatan dari duty cycle 5% sampai 20% dan menghasilkan tegangan 12,44 V sampai 19 V dengan kecepatan motor 2654 rpm. Hal ini dikarenakan adanya induktansi bocor yang terjadi pada trafo penaik tegangan.

Kata Kunci : Konverter, dc chopper, mikrokontroler ATmega8535, PWM, optocoupler.

ABSTRACT

The rapid developments of technology makes electronic equipment are mostly used in daily activities. An example for this case is that electronic device requiring DC voltage. A dc to dc converter is an instrument that serves regulating static dc voltage into a DC voltage variable. A full bridge converter was designed using center trap trafo where the income voltage value was increased until 2,5 times after rectified with MUR1560 diode, so that the voltage recieved by the load was dc voltage. The used load in this research was ½ HP power permanent magnetic dc motor, to adjust the speed of permanent magnetic motor with adjusting the pulse widht (duty cycle) PWM signal resulting from signal generator, such as Atmega 8535 microcontroller. The used method in PWM switching process was PWM phase correct method. The signal generator with Atmega8535 microcontroller and optocoupler serie as the protection series between the control and power. The using of switching component, linear passive component and center tap transformator would influence the outcome result voltage in this design. The author conducted the testings from 5% to 20% of duty cycle, and generated the voltage of 12,44 to 19 V, with 2654 rpm motor speed. This case was caused by a leakage inductance in the step up transformer.

Keywords: switching type of full bridge converter, microcontroler Atmega 8635, phase correct PWM, optocoupler series.

1. PENDAHULUAN

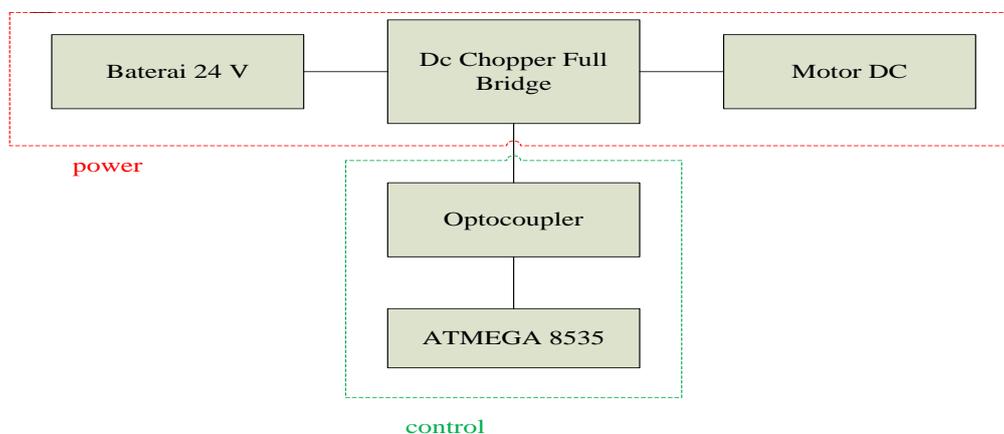
Dengan bertambahnya kebutuhan setiap individu saat ini maka teknologi juga akan semakin berkembang dengan pesatnya di berbagai bidang. Pada penelitian tugas akhir ini penulis akan merancang dan merealisasikan sebuah catu daya DC atau sebuah konverter dc-dc. Konverter dc-dc adalah suatu alat yang berfungsi untuk meregulasi tegangan dc statis menjadi tegangan DC yang variabel, jenis konverter dc-dc yang akan dibuat merupakan tipe *switching* dengan topologi jembatan penuh (**Fadillah, 2014**). Pengaturan kecepatan motor DC menggunakan *DC Chopper* Jembatan Penuh dengan menggunakan 4 MOSFET sebagai rangkaian daya yang *duty cycle*-nya diatur oleh sebuah mikrokontroler (**Rashid, 1993**). Dalam mengaktifkan kerja MOSFET sebagai saklar diperlukan gelombang pulsa yang dimasukkan pada *gate* MOSFET. Topologi konverter daya yang cocok dalam aplikasi penggerak mobil listrik ini adalah converter jembatan penuh karena mampu menghasilkan daya ½ HP dan didukung dengan kecepatan *switching* frekuensi tinggi sehingga motor akan tercatu dengan cepat (**Williams, 1992**). Konverter jembatan penuh ini difungsikan untuk menaikkan tegangan dan mencatu dengan tegangan yang konstan. *Plant* yang digunakan di dalam perancangan pengendalian kecepatan putaran motor DC ini adalah motor DC magnet permanen ½ HP.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Metodologi

Metodologi yang digunakan pada perancangan dan realisasi tugas akhir ini yaitu metode *chopper Full bridge* (jembatan penuh). Metode *chopper* yang memiliki kecepatan *switching* frekuensi 2000Hz sehingga motor akan tercatu dengan cepat. Konverter jembatan penuh ini difungsikan untuk menaikkan tegangan dan mencatu dengan tegangan yang konstan. Dalam merancang metode *chopper* menggunakan MOSFET sebagai saklar pemotongan (*switching*) nilai tegangan suplai pada motor DC (**Erickson, 1999**), sehingga terbentuk gelombang tegangan yang dapat diatur besar kecilnya lebar gelombang tersebut.

2.2 Block Diagram Perancangan *Dc Chopper* Jembatan Penuh



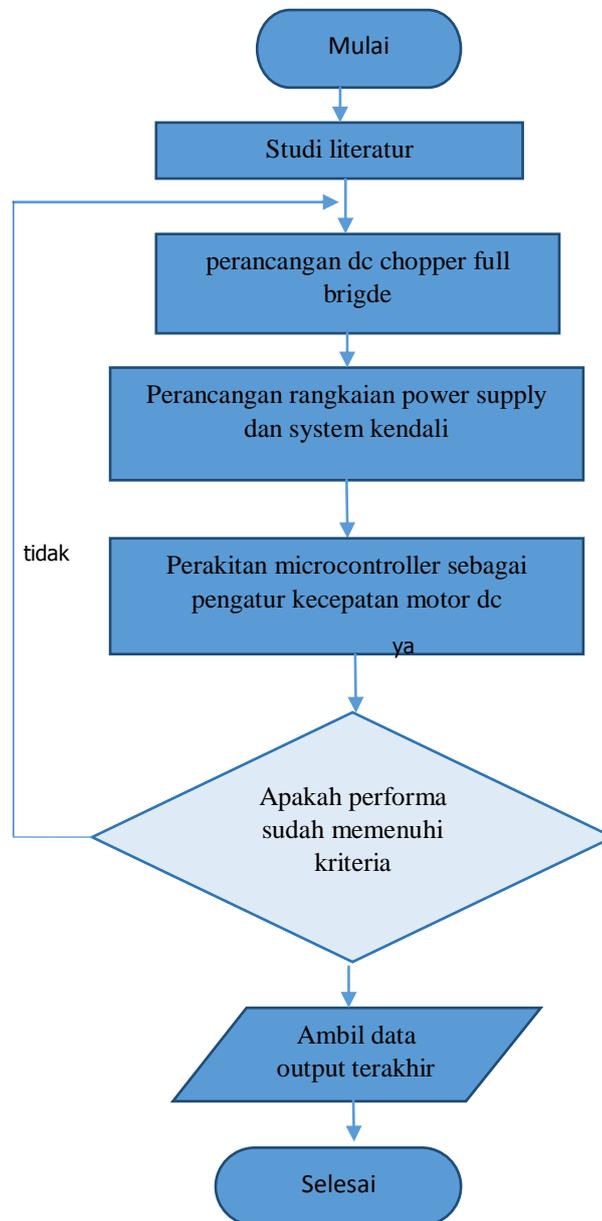
Gambar 1. Blok diagram perancangan *dc chopper* jembatan penuh

Penjelasan blok diagram perancangan konverter jembatan penuh pada Gambar 1 adalah sebagai berikut :

Dalam hal ini, sumber yang digunakan adalah baterai 24 volt kemudian ke rangkaian *single phase full bridge inverter* (inverter jembatan penuh satu fasa) digunakan untuk mengubah tegangan dc menjadi tegangan ac (**Marian, 2008**). Pada *single phase full bridge inverter* menggunakan metode *switching* SPWM (*Sinusoidal Pulse Width Modulation*) yang

dibangkitkan dengan menggunakan mikrokontroler ATmega8535. *Switching* dari mikrokontroler tidak langsung disambungkan ke mosfet (*inverter*) tetapi melalui *optocoupler*. *Optocoupler* digunakan sebagai pemisah antara Mikrokontroler dengan mosfet *Single Phase Full Bridge Inverter*. Dengan rangkaian *optocoupler* Mikrokontroler sebagai pembangkit PWM utama terhindar dari kerusakan , apabila terdapat arus balik dari rangkaian *Single Phase Full Bridge Inverter*.

Keluaran dari konverter jembatan penuh akan ke motor dc magnet permanen sebagai beban.



Gambar 2.Flowchart perancangan sistem

Penjelasan flowchart perancangan sistem konverter jembatan penuh pada Gambar 2 adalah sebagai berikut :

Sebelum melakukan perancangan converter jembatan penuh, sebelumnya melakukan studi literatur, setelah itu perancangan *power supply* untuk *control* dan *power*, kemudian perancangan mikrocontroller untuk pengaturan *duty cycle* sampai dengan pemrograman. Setelah semua komponen konverter jembatan penuh sudah dirancang akan dilakukan

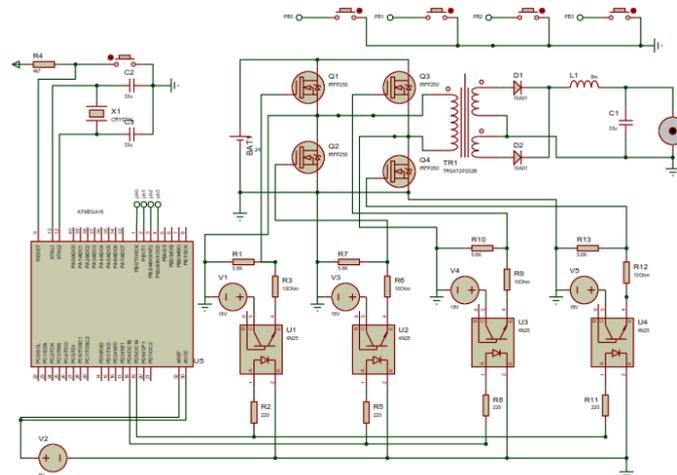
pengujian apakah hasilnya sesuai dengan yang di inginkan atau tidak. Jika sesuai maka akan dilakukan pengambilan data, jika tidak kembali lagi ke perancangan.

2.3 Perancangan Rangkaian Jembatan Penuh

Pada perancangan konverter jembatan penuh ini *setting* PWM pada microcontroller adalah *duty cycle* 5% sampai dengan *duty cycle* 20%. Kemudian diteruskan ke *optocoupler* sebelum masuk ke *gate* mosfet atau rangkaian power dimana trafo yang digunakan adalah trafo *centre tap* untuk menaikkan tegangan dari 24 volt sampai 60 volt dengan daya 373 watt. Dalam Tabel 1 berikut ini merupakan parameter perancangan konverter jembatan penuh.

Tabel 1. Parameter Perancangan konverter jembatan penuh

No	Parameter	Nilai
1	Tegangan Input (Vin)	24 V
2	Tegangan Output (Vout)	60 V
3	Arus Output (Iout)	10 A
4	Frekuensi Switching (FS)	2 Khz
5	Ripple Tegangan	2%
6	ΔI	0,3



Gambar 3. Perancangan sistem konverter jembatan penuh

Perancangan sistem konverter jembatan penuh pada Gambar 3 dirancang dengan *software* proteus, karena pada proteus dapat menginisiasi listing program PWM.

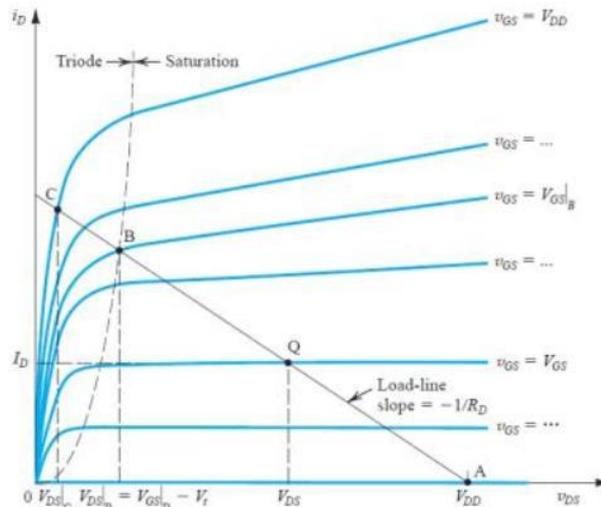
2.4 Perhitungan Komponen Konverter Jembatan Penuh

Untuk merancang konverter jembatan penuh diperlukan komponen yang sesuai dengan parameter yang telah ditetapkan. Dengan perhitungan-perhitungan komponen sebagai berikut:

1. Mikrocontroller yang digunakan adalah ATmega8535 sebagai penyulut PWM karena memiliki 4pin PWM pada *port* nya dan memory program 8 Kbytes, sehingga untuk penentuan PWM tidak terlalu susah. Pemilihan *port* PWM dari microcontroller ini pada *port* D4 dan D5.
2. Perancangan *Optocoupler* menggunakan ic 4N25 dapat men*switching* pada frekuensi hingga 1 MHz dan juga cocok untuk *switching* mosfet dengan frekuensi tinggi dan tegangan tinggi. sehingga cocok sebagai *driver* untuk rangkaian *full bridge converter* ini

3. Jenis mosfet yang digunakan untuk pensaklaran adalah IRFP250N karena *drain* pada mosfet mampu dilewati oleh arus sebesar 33A dan tegangan hingga 200v.
 Penentuan titik kerja MOSFET :

- Tentukan nilai resistansi *drain* (RD).
- Dengan menggunakan kurva ID vs VDS dengan VDD yang telah ditentukan buatlah garis beban pada kurva ID vs VDS dan tempatkan titik kerja Q.
- Catat nilai VGS, VDS dan iD pada titik kerja Q.



Gambar 4. Penentuan Titik Kerja Q

Pada Gambar 4 dijelaskan penentuan titik kerja mosfet, dimana grafik tersebut menjelaskan titik kerja mosfet terhadap Vds dan Id. Jika arus yang diberikan atau tegangan diberikan ke *gate* mosfet maka akan menentukan kerja *gate* mosfet.

- d. Hitung gm terlebih dahulu dengan mencari nilai K berdasarkan formula

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2 \quad (1)$$

$$gm = 2K(V_{GS} - V_T) \quad (2)$$

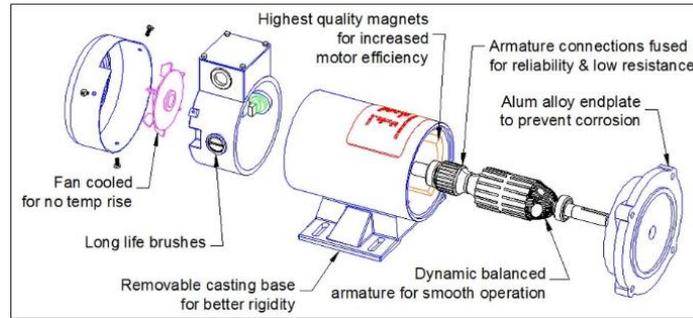
- Diode yang digunakan pada inverter jembatan penuh adalah diode *fast recovery* karena frekuensi *switching* yang digunakan adalah 2kHz. Pada sisi sekunder trafo akan disearahkan dengan diode tipe *ultrafast rectifier* MUR1510 dengan kemampuan diode sampai 15 A dan 600 Volt.
- Rumus yang dipakai untuk menentukan nilai induktansi dari *inductor* seperti yang ditunjukkan pada persamaan 1 dibawah ini.

$$L = \frac{1}{\Delta I_1} \left[V_o \left(\frac{1}{2} - D \right) T \right] \quad (3)$$

- Rumus yang dipakai untuk menentukan nilai kapasitansi pada filter kapasitor seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2 dibawah ini.

$$C = (1 - D) \frac{V_o}{8 \times L \times (2f)^2 \times \Delta V_o} \quad (4)$$

- Motor yang digunakan dalam perancangan penelitian tugas akhir ini menggunakan motor DC magnet permanen. Prinsip kerja motor DC magnet permanen adalah magnet permanen ini diposisikan pada medan stator dengan prinsip kerja bila arus dialirkan pada kumparan jangkar rotor dan medan stator menimbulkan medan magnetik yang bernilai konstan, maka timbul gaya listrik gaya *lorent* pada tiap sisi dari kumparan jangkar, yang menimbulkan momen (kopel) sehingga rotor berputar. Berikut merupakan gambar dari motor dc.



Gambar 5. Motor Dc Magnet Permanen

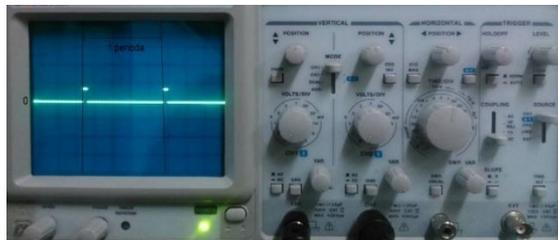
Gambar 5 menjelaskan tentang konstruksi dari motor Dc magnet permanen, sbagai beban induktif pada perancangan konverter jembatan penuh.

3. PENGUJIAN SISTEM DAN ANALISIS

3.1 Pengujian Rangkaian PWM

Berikut adalah gambar gelombang keluaran sinyal tegangan keluaran PWM dari microcontroller dengan *duty cycle* 5% hingga *duty cycle* 20%.

a. Sinyal PWM *duty cycle* 5%



Gambar 6. Sinyal PWM Keluaran Mikrocontroller *Duty Cycle* 5%

$$\begin{aligned} \text{Volt/div} &: 5 \text{ volt} & \text{Time/div} &: 1 \text{ ms} & \text{Probe} &: 1x \\ \text{Tegangan PWM} &= (\text{Div terukur}) \times (\text{volt/div}) \times (\text{Probe}) \\ &= 1 \times 4 \times 1 = 4 \text{ Volt} \\ \text{Ton} &= (\text{Div terukur}) \times (\text{time/div}) \\ &= 0,25 \times (1 \times 10^{-3}) = 2,5 \times 10^{-4} \\ \text{Duty Cycle (D)} &= \frac{T_{\text{on}}}{T_{\text{total}}} \times 100\% \\ &= \frac{2,5 \times 10^{-4}}{5 \times 10^{-3}} \times 100\% = 5\% \end{aligned}$$

Pada Gambar 6 sinyal PWM ditampilkan pada osciloscop digital, Tegangan PWM pada *duty cycle* 5% adalah sebesar 4 volt, dan besarnya *duty cycle* hasil pengukuran sama dengan besaar *duty cycle* berdasarkan perhitungan manual dan keluaran dari microcontroller. Disebabkan karena keluaran *power supply* yang tidak stabil.

b. Sinyal PWM *duty cycle* 10%



Gambar 7. Sinyal PWM Keluaran Mikrocontroller *Duty Cycle* 10%

Volt/div : 5 volt Time/div : 1 ms Probe : 1x

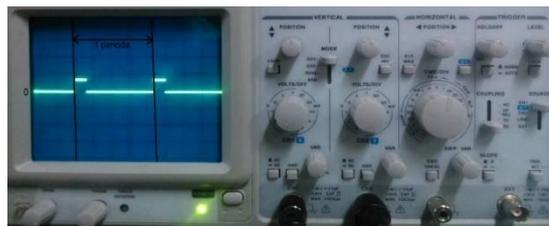
Tegangan PWM = (Div terukur) x (volt/div) x (Probe)
 = 1 x 4 x 1 = 4 Volt

Ton = (Div terukur) x (time/div)
 = 0,5 x (1 x 10⁻³) = 0,5 x 10⁻⁴

Duty Cycle(D) = $\frac{T_{on}}{T_{total}} \times 100\%$
 = $\frac{0,5 \times 10^{-4}}{5 \times 10^{-3}} \times 100\% = 10\%$

Pada Gambar 7 sinyal PWM ditampilkan pada osciloscop digital, Tegangan PWM pada *duty cycle*10% adalah sebesar 4 volt, dan besarnya *duty cycle* hasil pengukuran sama dengan besaar *duty cycle* berdasarkan perhitungan manual dan keluaran dari microcontroller. Disebabkan karena keluaran *power supply* yang tidak stabil.

c. Sinyal PWM *duty cycle* 15%



Gambar 8. Sinyal PWM Keluaran Mikrocontroller *Duty Cycle*15%

Volt/div : 5 volt Time/div : 1 ms Probe : 1x

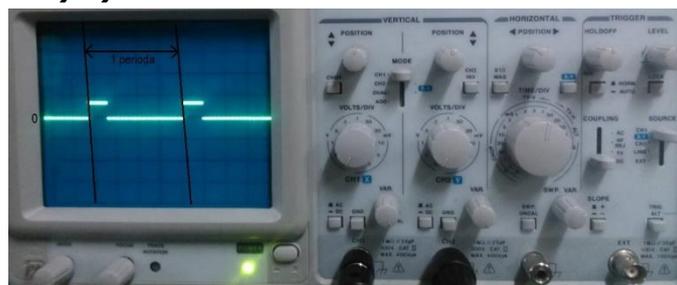
Tegangan PWM = (Div terukur) x (volt/div) x (Probe)
 = 1 x 4 x 1 = 4 Volt

Ton = (Div terukur) x (time/div)
 = 0,75 x (1 x 10⁻³) = 0,75x 10⁻⁴

Duty Cycle (D) = $\frac{T_{on}}{T_{total}} \times 100\%$
 = $\frac{0,75 \times 10^{-4}}{5 \times 10^{-3}} \times 100\% = 15\%$

ada Gambar 8 sinyal PWM ditampilkan pada osciloscop digital, Tegangan PWM pada *duty cycle*15% adalah sebesar 4 volt, dan besarnya *duty cycle* hasil pengukuran sama dengan besaar *duty cycle* berdasarkan perhitungan manual dan keluaran dari microcontroller. Disebabkan karena keluaran *power supply* yang tidak stabil.

d. Sinyal PWM *duty cycle*20%



Gambar 9. Sinyal PWM Keluaran Mikrocontroller *Duty Cycle*20%

Volt/div : 5 volt Time/div : 1 ms Probe : 1x

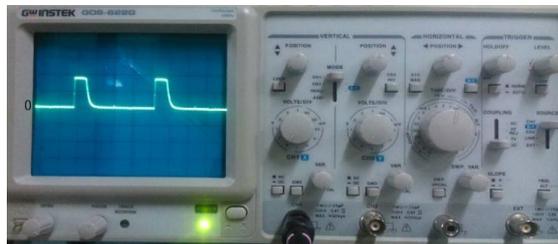
$$\begin{aligned} \text{Tegangan PWM} &= (\text{Div terukur}) \times (\text{volt/div}) \times (\text{Probe}) \\ &= 1 \times 4 \times 1 = 4 \text{ Volt} \\ \text{Ton} &= (\text{Div terukur}) \times (\text{time/div}) \\ &= 1 \times (1 \times 10^{-3}) = 1 \times 10^{-3} \\ \text{Duty Cycle (D)} &= \frac{T_{\text{on}}}{T_{\text{total}}} \times 100\% \\ &= \frac{1 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-3}} \times 100\% = 20\% \end{aligned}$$

Pada Gambar 9 sinyal PWM ditampilkan pada osciloscop digital, Tegangan PWM pada *duty cycle* 20% adalah sebesar 4 volt, dan besarnya *duty cycle* hasil pengukuran sama dengan besaar *duty cycle* berdasarkan perhitungan manual dan keluaran dari microcontroller. Disebabkan karena keluaran *power supply* yang tidak stabil.

3.2 Pengujian Rangkaian *Optocoupler*

Gambar sinyal PWM ditampilkan pada osciloscop digital dengan *duty cycle* 5% sampai 20%, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

a. Sinyal *optocoupler* pada *duty cycle* 5%



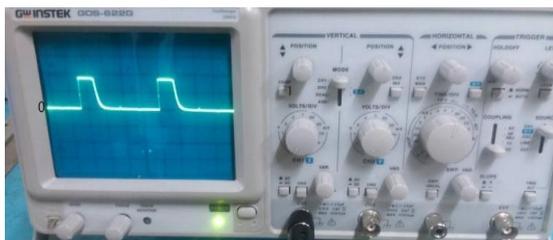
Gambar 10. Sinyal Keluaran *Optocoupler Duty Cycle* 5%

Volt/div : 5 v Time/div : 1 ms Probe : 1x

$$\begin{aligned} \text{Tegangan PWM} &= (\text{Div terukur}) \times (\text{volt/div}) \times (\text{Probe}) \\ &= 1,8 \times 5\text{v} \times 1 = 9 \text{ Volt} \\ T &= \frac{1}{f} \\ f &= \frac{1}{T} = \frac{1}{\left(\frac{\text{Time}}{\text{div}}\right) \times \text{div}} = \frac{1}{5,6 \times (1 \times 10^{-3})} = 1,78 \text{ KHz} \end{aligned}$$

Pada Gambar 10 sinyal keluaran *optocoupler* ditampilkan pada osciloscop digital, frekuensi pada *duty cycle* 5% terdapat selisih 0,22 KHz dari frekuensi referensi dengan hasil perhitungan, hal ini disebabkan karena komponen pada *optocoupler*.

b. Sinyal *optocoupler* pada *duty cycle* 10%



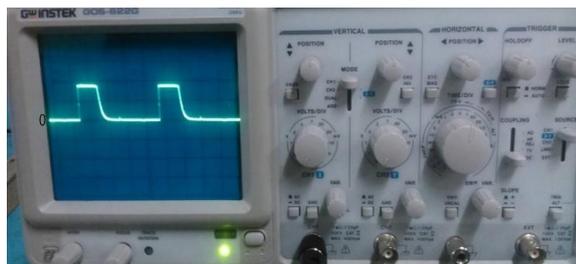
Gambar 11. Sinyal Keluaran *Optocoupler Duty Cycle* 10%

Volt/div : 5 v Time/div : 1 ms Probe : 1x

$$\begin{aligned} \text{Tegangan PWM} &= (\text{Div terukur}) \times (\text{volt/div}) \times (\text{Probe}) \\ &= 1,8 \times 5\text{v} \times 1 = 9 \text{ Volt} \\ T &= \frac{1}{f} \\ f &= \frac{1}{T} = \frac{1}{\left(\frac{\text{time}}{\text{div}}\right) \times \text{div}} = \frac{1}{5,4 \times (1 \times 10^{-3})} = 1,85 \text{ KHz} \end{aligned}$$

Pada Gambar 11 sinyal keluaran optocoupler ditampilkan pada osciloscop digital, frekuensi pada *duty cycle 10%* terdapat selisih 0,15 KHz dari frekuensi referensi dengan hasil perhitungan, hal ini disebabkan karena komponen pada *optocoupler*.

c. Sinyal *optocoupler* pada *duty cycle 15%*



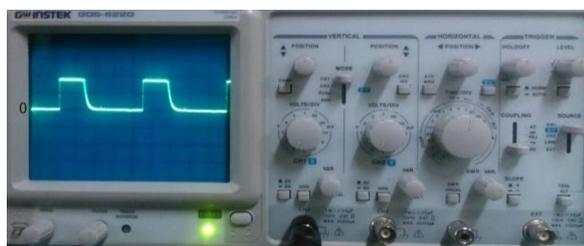
Gambar 12. Sinyal Keluaran Optocoupler *Duty Cycle 15%*

Volt/div : 5 v Time/div : 1 ms Probe : 1x

$$\begin{aligned} \text{Tegangan PWM} &= (\text{Div terukur}) \times (\text{volt/div}) \times (\text{Probe}) \\ &= 1,8 \times 5\text{v} \times 1 = 9 \text{ Volt} \\ T &= \frac{1}{f} \\ f &= \frac{1}{T} = \frac{1}{\left(\frac{\text{time}}{\text{div}}\right) \times \text{div}} = \frac{1}{5,2 \times (1 \times 10^{-3})} = 1,92 \text{ KHz} \end{aligned}$$

Pada Gambar 12 sinyal keluaran optocoupler ditampilkan pada osciloscop digital, frekuensi pada *duty cycle 15%* terdapat selisih 0,08 KHz dari frekuensi referensi dengan hasil perhitungan, hal ini disebabkan karena komponen pasif pada optocoupler.

d. Sinyal *optocoupler* pada *duty cycle 20%*



Gambar 13. Sinyal Keluaran Optocoupler *Duty Cycle 20%*

Volt/div : 5 v Time/div : 1 ms Probe : 1x

$$\begin{aligned} \text{Tegangan PWM} &= (\text{Div terukur}) \times (\text{volt/div}) \times (\text{Probe}) \\ &= 1,8 \times 5\text{v} \times 1 = 9 \text{ Volt} \\ T &= \frac{1}{f} \\ f &= \frac{1}{T} = \frac{1}{\left(\frac{\text{time}}{\text{div}}\right) \times \text{div}} = \frac{1}{5,2 \times (1 \times 10^{-3})} = 1,96 \text{ KHz} \end{aligned}$$

Pada Gambar 13 sinyal keluaran optocoupler ditampilkan pada osciloscop digital, frekuensi pada *duty cycle 20%* terdapat selisih 0,04 KHz dari frekuensi referensi dengan hasil perhitungan, hal ini disebabkan karena resistansi pada keluaran optocoupler cukup besar dan proses coupling pada ic 4N25 yang dimana FET sebagai switch pada ic merasakan on akibat dari efek foto diode sehingga pada saat Toff atau Ton ada sedikit delay

Dalam tabel 2 dibawah ini terdapat perubahan frekuensi terhadap perubahan duty cycle dan selisih frekuensi antara frekuensi perhitungan dengan frekuensi *design*.

Tabel 2. Hasil perhitungan dan simulasi tegangan eksitasi AC Exciter saat generator kondisi beban penuh

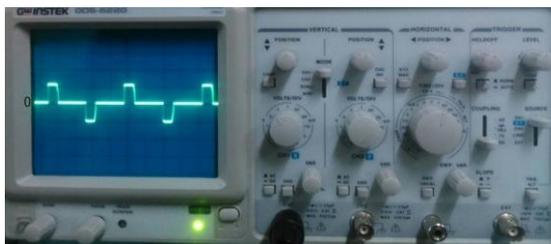
No	Duty cycle	Frekuensi <i>design</i>	Frekuensi pengamatan	Selisih frekuensi
1	5 %	2 KHz	1,78 KHz	0,22 KHz
2	10 %	2 KHz	1,85 KHz	0,15 KHz
3	15 %	2 KHz	1,92 KHz	0,08 KHz
4	20 %	2 KHz	1,96 KHz	0,04 KHz
Selisih rata- rata				0,13 KHz

Terdapat selisih dari frekuensi referensi dengan frekuensi hasil perhitungan, hal ini disebabkan karena resistansi pada keluaran *optocoupler* cukup besar dan proses *coupling* pada ic 4N25 yang dimana FET sebagai *switch* pada ic merasakan *on* akibat dari efek foto dioda sehingga pada saat Toff atau Ton ada sedikit *delay*.

3.3 Pengujian Rangkaian *Single Phase Full Bridge Inverter*

Gambar sinyal keluaran dari *Single Phase Full Bridge Inverter* ditampilkan pada osciloscop digital dengan duty cycle 5% sampai 20%, dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

a. Sinyal *full bridge* pada *duty cycle 5%*

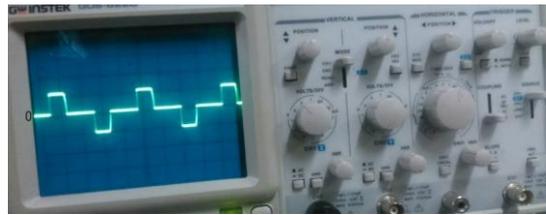


Gambar 14. Sinyal Keluaran *Optocoupler Duty Cycle 5%*

$$\begin{aligned}
 \text{Duty Cycle}(D) &= \frac{T_{on}}{T_{total}} \times 100\% \\
 &= \frac{0,5 \times 10^{-4}}{5 \times 10^{-3}} \times 100\% = 10\%
 \end{aligned}$$

Pada Gambar 14 sinyal keluaran optocoupler ditampilkan pada osciloscop digital dengan *duty cycle 5%* *Duty cycle* mengalami kenaikan sebesar 5%, karena div yang terukur adalah 0,5 dan div yang terukur pada mikrocontroller adalah 0,25 yang artinya mengalami kenaikan 0,25 div pada saat Ton dan Toff. Hal ini dipengaruhi oleh proses *coupling* FET pada ic 4N25 masih merasakan *on* yang di akibatkan oleh cahaya sisa dari proses foto diode sebelumnya sehingga Ton dan Toff yang dirasakan mosfet akan lebih besar dari yang sebenarnya.

b. Sinyal full bridge pada duty cycle 10%

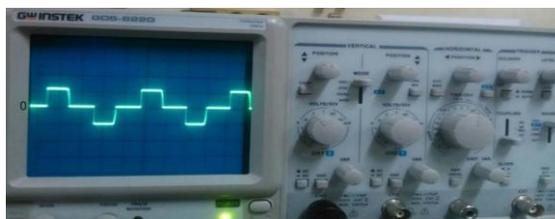


Gambar 15. Sinyal Keluaran Optocoupler Duty Cycle 10%

$$\begin{aligned} \text{Duty Cycle}(D) &= \frac{T_{on}}{T_{total}} \times 100\% \\ &= \frac{1 \times 10^{-4}}{5 \times 10^{-3}} \times 100\% = 20\% \end{aligned}$$

Pada Gambar 14 sinyal keluaran optocoupler ditampilkan pada osciloscop digital, dengan *duty cycle 10%* *Duty cycle* mengalami kenaikan sebesar 10%, karena div yang terukur adalah 1 dan div yang terukur pada mikrocontroller adalah 0,5 yang artinya mengalami kenaikan 0,5 div pada saat T_{on} dan T_{off} . Hal ini dipengaruhi oleh proses *coupling* FET pada ic 4N25 masih merasakan *on* yang di akibatkan oleh cahaya sisa dari proses foto diode sebelumnya sehingga T_{on} dan T_{off} yang dirasakan mosfet akan lebih besar dari yang sebenarnya.

c. Sinyal full bridge pada duty cycle 15%

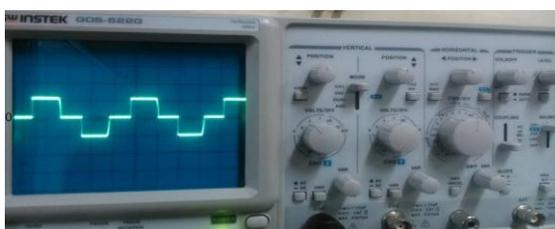


Gambar 16. Sinyal Keluaran Optocoupler Duty Cycle 15%

$$\begin{aligned} \text{Duty Cycle}(D) &= \frac{T_{on}}{T_{total}} \times 100\% \\ &= \frac{1,2 \times 10^{-4}}{5 \times 10^{-3}} \times 100\% = 24\% \end{aligned}$$

Pada Gambar 14 sinyal keluaran optocoupler ditampilkan pada osciloscop digital, dengan *duty cycle 15%* *Duty cycle* mengalami kenaikan sebesar 9%, karena div yang terukur adalah 1,2 dan div yang terukur pada mikrocontroller adalah 0,75 yang artinya mengalami kenaikan 0,45 div pada saat T_{on} dan T_{off} . Hal ini dipengaruhi oleh proses *coupling* FET pada ic 4N25 masih merasakan *on* yang di akibatkan oleh cahaya sisa dari proses foto diode sebelumnya sehingga T_{on} dan T_{off} yang dirasakan mosfet akan lebih besar dari yang sebenarnya.

d. Sinyal full bridge pada duty cycle 20%



Gambar 17. Sinyal Keluaran Optocoupler Duty Cycle 20%

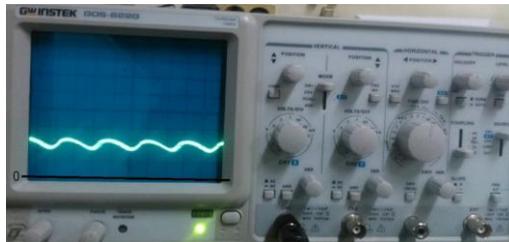
$$Duty\ Cycle(D) = \frac{T_{on}}{T_{total}} \times 100\%$$

$$= \frac{1,4 \times 10^{-4}}{5 \times 10^{-3}} \times 100\% = 28\%$$

Pada Gambar 14 sinyal keluaran optocoupler ditampilkan pada osciloscop digital, dengan *duty cycle 20%* *Duty cycle* mengalami kenaikan sebesar 8%, karena div yang terukur adalah 1,4 dan div yang terukur pada mikrocontroller adalah 1 yang artinya mengalami kenaikan 0,4 div pada saat T_{on} dan T_{off} . Hal ini dipengaruhi oleh proses *coupling* FET pada ic 4N25 masih merasakan *on* yang di akibatkan oleh cahaya sisa dari proses foto diode sebelumnya sehingga T_{on} dan T_{off} yang dirasakan mosfet akan lebih besar dari yang sebenarnya. Keluaran dari mosfet mengalami kenaikan hampir 50% setelah mendapatkan *supply* dari rangkaian *optocoupler*, hal ini disebabkan karena *delay* yang terjadi pada rangkaian *optocoupler* sehingga T_{on} dan T_{off} yang dirasakan mosfet akan lebih besar dari yang sebenarnya.

3.4 Pengujian *Output* Rangkaian Konverter Jembatan Penuh

a. Sinyal *output* dengan *duty cycle 5%*



Gambar 18. Sinyal *output* dengan *duty cycle 5%*

Volt/div : 5 volt

Time/div : 1 ms

Probe : 1x

$$V_{out} = (\text{Div terukur}) \times (\text{volt/div}) \times (\text{Probe})$$

$$= 2,48 \times 5 \times 1 = 12,44 \text{ Volt}$$

Tegangan *output* berdasarkan perhitungan :

$$V_{out} = V_{mos} (\text{terukur}) \times \text{perbandingan trafo}$$

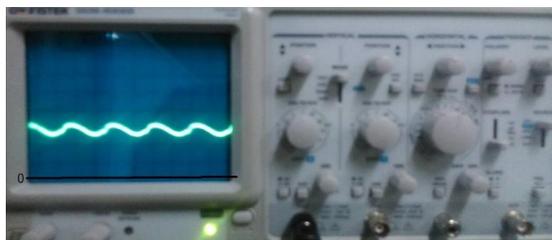
$$= 5,44 \times 2,5$$

$$= 13,6 \text{ volt}$$

Kecepatan motor = 1506 rpm

Pada Gambar 18 sinyal keluaran rangkaian converter ditampilkan pada osciloscop digital, tegangan pada *duty cycle 5%* Berdasarkan pengamatan atau hasil kerja dari *full bridge* di dapatkan pada saat *duty cycle 5%* tegangan keluaran nya adalah 12,44 volt, dan hasil perhitungan adalah 13,6 volt. Terjadi *drop voltage* sebesar 1,16 volt pada sisi *output full bridge* Dan sinyal keluaran yang dihasilkan terdapat *ripple* tegangan karena rangkaian *filter* tidak bekerja dengan baik.

b. Sinyal *output* dengan *duty cycle 10%*



Gambar 19. Sinyal *output* dengan *duty cycle 10%*

Volt/div : 5 volt

Time/div : 1 ms

Probe : 1x

$$\begin{aligned} V_{out} &= (\text{Div terukur}) \times (\text{volt/div}) \times (\text{Probe}) \\ &= 3,35 \times 5 \times 1 = 17,75 \text{ Volt} \end{aligned}$$

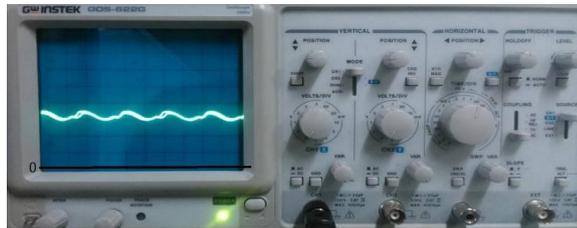
Tegangan output berdasarkan perhitungan :

$$\begin{aligned} V_{out} &= V_{mos} (\text{terukur}) \times \text{perbandingan trafo} \\ &= 8,25 \times 2,5 \\ &= 20,7 \text{ volt} \end{aligned}$$

Kecepatan motor = 2263 rpm

Pada Gambar 19 sinyal keluaran rangkaian konverter ditampilkan pada osciloscop digital, tegangan pada *duty cycle 10%* Berdasarkan pengamatan atau hasil kerja dari *full bridge* di dapatkan pada saat *duty cycle 15%* tegangan keluaran nya adalah 17,75 volt, dan hasil perhitungan adalah 20,7volt. Terjadi *drop voltage* sebesar 2,95 volt pada sisi *output full bridge* Dan sinyal keluaran yang dihasilkan terdapat *ripple* tegangan karena rangkaian *filter* tidak bekerja dengan baik.

c. Sinyal *output* dengan *duty cycle 15%*



Gambar 20. Sinyal *output* dengan *duty cycle 15%*

Volt/div : 5 volt

Time/div : 1 ms

Probe : 1x

$$\begin{aligned} V_{out} &= (\text{Div terukur}) \times (\text{volt/div}) \times (\text{Probe}) \\ &= 3,6 \times 5 \times 1 = 18,36 \text{ Volt} \end{aligned}$$

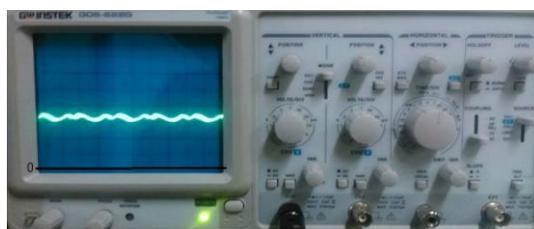
Tegangan output berdasarkan perhitungan :

$$\begin{aligned} V_{out} &= V_{mos} (\text{terukur}) \times \text{perbandingan trafo} \\ &= 11,37 \times 2,5 \\ &= 28,42 \text{ volt} \end{aligned}$$

Kecepatan motor = 2570 rpm

Pada Gambar 20 sinyal keluaran rangkaian converter ditampilkan pada osciloscop digital, tegangan pada *duty cycle 20%* Berdasarkan pengamatan atau hasil kerja dari *full bridge* di dapatkan pada saat *duty cycle 15%* tegangan keluaran nya adalah 18,36 volt, dan hasil perhitungan adalah 28,42 volt. Terjadi *drop voltage* sebesar 10,06 volt pada sisi *output full bridge* Dan sinyal keluaran yang dihasilkan terdapat *ripple* tegangan karena rangkaian *filter* tidak bekerja dengan baik.

d. Sinyal *output* dengan *duty cycle 20%*



Gambar 21. Sinyal *output* dengan *duty cycle 20%*

Volt/div : 5 volt

Time/div : 1 ms

Probe : 1x

$$V_{out} = (\text{Div terukur}) \times (\text{volt/div}) \times (\text{Probe})$$

$$= 3,8 \times 5 \times 1 = 19 \text{ Volt}$$

Tegangan output berdasarkan perhitungan :

$$V_{out} = V_{mos} (\text{terukur}) \times \text{perbandingan trafo}$$

$$= 15,04 \times 2,5$$

$$= 37,6 \text{ volt}$$

$$\text{Kecepatan motor} = 2654 \text{ rpm}$$

Pada Gambar 21 sinyal keluaran rangkaian converter ditampilkan pada osciloscop digital, tegangan pada *duty cycle 20%* Berdasarkan pengamatan atau hasil kerja dari *full bridge* di dapatkan pada saat *duty cycle 20%* tegangan keluaran nya adalah 19 volt, dan hasil perhitungan adalah 37,6 volt. Terjadi *drop voltage* sebesar 18,6 volt pada sisi *output full bridge* Dan sinyal keluaran yang dihasilkan terdapat *ripple* tegangan karena rangkaian *filter* tidak bekerja dengan baik.

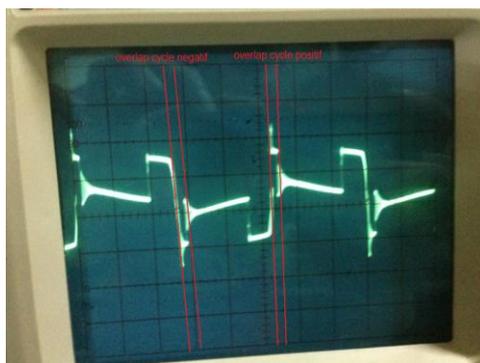
Tabel 2. Hasil perhitungan dan simulasi tegangan eksitasi AC Exciter saat generator kondisi beban penuh

Pada Tabel 2 di bawah ini terdapat perubahan *duty cycle* terhadap perubahan kecepatan motor dan *drop voltage* pada masing- masing *duty cycle*.

No	Duty Cycle	Kecepatan Motor	Drop Voltage
1	5 %	1506 rpm	1,16 volt
2	10 %	2263 rpm	2,95 volt
3	15 %	2570 rpm	10,06 volt
4	20%	2654 rpm	18,6 volt

Berdasarkan pengamatan atau hasil kerja dari konverter jembatan penuh Pada percobaan *duty cycle 15%* dan *duty cycle 20%* terjadi *drop voltage* hingga hampir setengahnya dari tegangan keluaran yang seharusnya (perhitungan). gelombang sinyal yang dihasilkan tidak berupa DC murni akan tetapi terdapat *ripple* tegangan yang di akibatkan oleh rangkaian filter yang tidak bekerja 100%.

Drop voltage ini ditimbulkan oleh induktansi bocor pada trafo yang mengakibatkan *overlap* pada *inverter full bridge* karena adanya induktansi sumber. Induktansi sumber berasal dari induktansi bocor pada trafo. *Komutasi* (perpindahan) arus diode ke diode lain tidak akan berpindah secara langsung ketika sumber AC mengandung induktansi bocor, artinya arus diode tidak berpindah secara langsung dari D1 menuju D4 pada cycle positif (delay). Jadi selama komutasi keempat diode tersebut akan mengalirkan arus yang mengakibatkan tegangan sumber sepenuhnya diterima oleh induktansi pada trafo (Ls). hal ini dapat dilihat pada hasil pengamatan tegangan keluaran *inverter* dan tegangan keluaran trafo di bawah ini.



Gambar 22. Sinyal Output Tegangan pada Inverter

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik adalah :

1. Dalam percobaan dengan *duty cycle* 5% terjadi *drop* tegangan sebesar 1,6 volt, pada saat 10% terjadi *drop* tegangan 2,95 volt , pada *duty cycle* 15% terjadi *drop* 10,06 volt dan pada *duty cycle* 20% terjadi *drop* samapai hampir setengah dari tegangan yang seharusnya yaitu 18,6 volt. Hal ini disebabkan karena induktansi bocor pada trafo sangat besar, sehingga menyebabkan terjadinya arus lawan yang cukup besar dan drop voltage yang besar.
2. Penulis hanya melakukan percobaan 4 kondisi untuk melihat perubahan kecepatan motor dc 1/2 HP magnet permanen yang dipengaruhi oleh perubahan PWM, kecepatan motor dipengaruhi oleh besarnya tegangan yang dirasakan oleh motor dan kecepatan tertinggi motor pada pengujian ini adalah 1366 rpm pada *duty cycle* 20%
3. *Optocoupler* digunakan sebagai pemisah antara Mikrokontroler dengan mosfet *Single Phase Full Bridge Inverter*. Dengan rangkaian *optocoupler* Mikrokontroler sebagai pembangkit PWM utama terhindar dari kerusakan.
4. Resolusi dari ic 4N25 *optocoupler* sangat mempengaruhi *switching* pada mosfet karena *switching* mengalami kenaikan *switching* yang signifikan yang menyebabkan hasil dari pengujian dengan referensi cukup jauh. Pada saat *duty cycle* 5% mengalami kenaikan sebesar 5%, pada *duty cycle* 10% mengalami kenaikan sebesar 10%, pada *duty cycle* 15% mengalami kenaikan 9%, dan pada saat *duty cycle* 20% mengalami kenaikan 8%.

DAFTAR PUSTAKA

- Rashid, Muhammad H. (1993). *Power Electronics Circuit Device and Applications*. Fort Wayne Indiana: Purdue University.
- Marian K. Kazimierczuk. (2008). *Pulse-width Modulated DC-DC Converter*. Ohio, USA: Wright State University Dayton.
- Erickson, Robert W. (1999). *Fundamentals of Power Electronics*. Colorado: University of Colorado.
- Williams, B.W. (1992). *Power Electronics (Devices, Driver, Applications and Passive Components)*. Edinburgh: Department of Electrical and Electronic Engineering Heriot-Watt University.
- Fadillah, Fitra. (2014). Perancangan dan Realisasi Konverter DC-DC Tipe *Boost* Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8535. Bandung: Institut teknologi nasional.