

RANCANG BANGUN RANGKAIAN FULL BRIDGE CONVERTER DAN INVERTER 3 FASA SEBAGAI PENGGERAK MOBIL LISTRIK BERBASIS MIKROKONTROLER (FULL BRIDGE CONVERTER)

Anintiya Maharani¹, Ir. M. Zaenal Effendi, MT², Ir. Era Purwanto, M. Eng³
Mahasiswa Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia^{1}*
next_nina@yahoo.co.id

Dosen Pembimbing 1, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia²
Dosen Pembimbing 2, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya, Indonesia³

ABSTRAK

Penggunaan motor AC sebagai penggerak dari mobil listrik membutuhkan konverter dan inverter sebagai pengatur kecepatannya. Dalam memenuhi kebutuhan tegangan catu dari motor AC (induksi) 3 fase yang digunakan maka diperlukan inverter sebagai pengatur kecepatan dan juga konverter daya sebagai pencatu tegangan inverter untuk motor yang konstan yaitu 220 Volt.

Topologi konverter daya yang cocok dalam aplikasi penggerak mobil listrik ini adalah *Full Bridge Converter* karena mampu menghasilkan daya yang besar yaitu lebih dari 1 kW dan didukung dengan kecepatan switching frekuensi tinggi sehingga motor akan tercatu dengan cepat. *Full bridge converter* ini difungsikan untuk menaikkan tegangan dan mencatu dengan tegangan yang konstan. Konverter ini didesain dengan tegangan masukan sebesar 70 volt dari 6 buah aki dengan spesifikasi 12V/36Ah dan akan mencatu tegangan nominal rms motor yaitu 220 Volt yang sebelumnya melewati inverter sebagai pengatur kecepatannya dengan megatur frekuensinya.

Dari hasil pengujian converter dengan beban motor induksi 1 Hp yang disulut dari PWM dengan frekuensi 40 kHz dan duty cycle 50% maka didapatkan keluaran tegangan konstan sebesar 183 Volt DC dan keluaran arus sebesar 0,1 A.

Kata kunci: *Full Bridge converter, PWM, Half Bridge driver IR2111.*

ABSTRACT

At several years ago had been done a lot of research about the electric vehicle as the way to release the dependence of gasoline. On the development had been tried using AC motor and DC motor. In relatives of choosing DC motor or AC motor, each of them has advantages and so does the disadvantages. The Development in several automotives industry had been used AC motor as the propulsion because AC motor stronger, cheaper, and easier in maintenance than DC motor.

Using AC motor as the propulsion of electric car needs some converter and inverter as speed controller. To fulfill 3 phase AC motor supply voltage we need 3 phase inverter as speed controller and also power converter as 3 phase inverter constant supply voltage 220 Volt dc

Topology of power converter that suitable in electric car application is Full Bridge Converter because it is able to produce high power about 5 kW and supporting by high frequency so the motor will supplied fast. This Full bridge converter used to increase voltages and supplied constantly. This converter was designed with 72 volt input voltage from 6 units of accumulator with each specification is 12V/36 Ah and will be supplied the induction motor 220V that pass the inverter before as speed controller with adjusting the frequency.

From the converter's experiment with load induction motor three phase 1 Hp got results that is triggered by PWM(Pulse Width Modulation) generator with frequency 40kHz and duty cycle 50% with 3 lamp as load with each lamp is 220volt/100watt we got output voltage equal with 183 Vdc and output current equal with 0,1 A

Keyword: *Full Bridge converter, PWM, Half Bridge driver IR2111.*

1. PENDAHULUAN

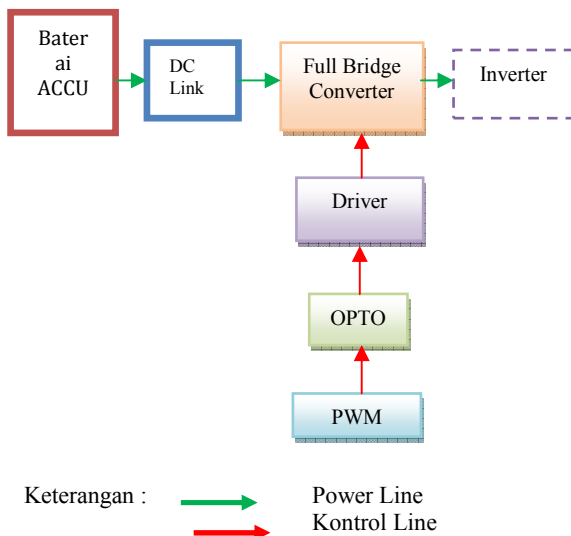
Dalam beberapa tahun belakangan telah banyak dilakukan berbagai riset tentang mobil listrik sebagai salah satu solusi dari ketergantungan BBM. Dalam pengembangan tersebut telah dicoba dengan menggunakan baik motor AC maupun DC. Dalam kaitannya pemilihan penggunaan motor DC ataupun AC masing-masing mempunyai keunggulan dan kelemahan. Pengembangan di beberapa industri mobil banyak menggunakan motor AC sebagai penggerak hal ini dikarenakan motor AC lebih kokoh dan murah, serta lebih mudah dalam perawatannya daripada motor DC.

Penggunaan motor AC sebagai penggerak dari mobil listrik membutuhkan konverter dan inverter sebagai pengatur kecepatannya. Dalam memenuhi kebutuhan tegangan catu dari motor AC (induksi) 3 fase yang digunakan maka diperlukan inverter sebagai pengatur kecepatan dan juga konverter daya sebagai pencatu tegangan inverter untuk motor yang konstan yaitu 220 Volt.

Topologi konverter daya yang cocok dalam aplikasi penggerak mobil listrik ini adalah *Full Bridge Converter* karena mampu menghasilkan daya yang besar yaitu lebih dari 5 kW dan didukung dengan kecepatan switching frekuensi tinggi sehingga motor akan tercatu dengan cepat. *Full bridge converter* ini difungsikan untuk menaikkan tegangan dan mencatu dengan tegangan yang konstan. Konverter ini didesain dengan tegangan masukan sebesar 72 volt dari 6 buah aki dengan spesifikasi 12V/36Ah dan akan mencatu tegangan nominal rms motor yaitu 220 Volt yang sebelumnya melewati inverter sebagai pengaturan kecepatannya dengan megatur frekuensinya.

Dengan permasalahan diatas, dibutuhkan suatu rangkaian dan kontrol yang mampu menghasilkan tegangan *output* yang stabil dengan input dari baterai (*accu*). Kontrol *duty cycle PWM* pada *Full Bridge converter* adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk pengaturan tegangan.

2. PERANCANGAN SISTEM



Gambar2.1 Desain sistem

2.1 Full Bridge Converter

Pada sistem ini, *Fullbridge* konverter digunakan untuk menaikkan tegangan dari baterai yang bernilai 72 V ke nilai sekitar 311 V yang digunakan untuk mencatu beban inverter dan motor induksi 3 fasa. Rumus yang dipakai untuk menentukan perbandingan trafo seperti yang ditunjukkan pada **persamaan 2.1** dibawah ini.

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{V_o}{(2 \times V_{in} \times D)} \dots\dots(2.1)$$

Rumus yang dipakai untuk menentukan jumlah lilitan trafo di sisi primer seperti yang ditunjukkan pada **persamaan 2.2** dibawah ini.

$$N_1 = \frac{(D \times T \times V_{in})}{(2 \times B_{max} \times A_c)} \times 10^4;$$

$$B_{max} = 0,25 \text{ Tesla}$$

.....(2.2)

Rumus yang dipakai untuk menentukan jumlah lilitan trafo di sisi sekunder seperti yang ditunjukkan pada **persamaan 2.3** dibawah ini.

$$N_2 = n \times N_1$$

.....(2.3)

Rumus yang dipakai untuk menentukan arus rms trafo di sisi primer seperti yang ditunjukkan pada **persamaan 2.4** dibawah ini.

$$I_{1rms} = \frac{N_2}{N_1} \times I_o \times \sqrt{D}$$

.....(2.4)

Rumus yang dipakai untuk menentukan arus rms trafo di sisi sekunder seperti yang ditunjukkan pada **persamaan 2.5** dibawah ini.

$$I_{2rms} = \frac{1}{2} \times I_o \times \sqrt{1 + D}$$

.....(2.5)

Rumus yang dipakai untuk menentukan diameter kawat lilitan trafo di sisi primer seperti yang ditunjukkan pada **persamaan 2.6** dibawah ini.

$$d_1 = \sqrt{\frac{(4 \times I_{1rms})}{\pi \times s}} \dots\dots(2.6)$$

Rumus yang dipakai untuk menentukan diameter kawat lilitan trafo di sisi sekunder seperti yang ditunjukkan pada **persamaan 2.7** dibawah ini.

$$d_2 = \sqrt{\frac{(4 \times I_{2rms})}{\pi \times s}}$$

.....(2.7)

Rumus yang dipakai untuk menentukan nilai induktansi dari *inductor* seperti yang ditunjukkan pada **persamaan 2.8** dibawah ini.

$$L_o = \frac{1}{\Delta I_l} \times \left[V_o \times \left(\frac{1}{2} - D \right) \times T \right]$$

.....(2.8)

$$; \Delta I_l = 20\% - 40\% \times I_o$$

Rumus yang dipakai untuk menentukan nilai kapasitansi pada filter kapasitor seperti yang ditunjukkan pada **persamaan 2.9** dibawah ini.

$$C_o = (1 - D) \times \frac{V_o}{8 \times L_o \times (2f)^2 \times \Delta V_o}$$

.....(2.9)

Rumus yang dipakai untuk menentukan jumlah lilitan filter induktor seperti yang ditunjukkan pada **persamaan 2.10** dibawah ini.

$$n = \frac{L \text{ max}}{B \text{ max } A_c} \times 10^4$$

.....(2.10)

2.2 Baterai (Accu)

Pada proyek akhir ini dipilih baterai dengan spesifikasi tegangan 12V/36Ah yang diseri sebanyak 6 buah menjadi 72 volt. Hal ini dikarenakan untuk menaikkan tegangan dengan perbandingan terlalu besar yaitu 1:3 namun mampu dioperasikan dalam sistem hingga sekitar 1 jam. Namun sebenarnya dalam perancangan secara teoritis dibutuhkan baterai dengan kapasitas 60Ah. Perhitungan kapasitas ini didasarkan pada kebutuhan dari waktu pengoperasian atau pemakaian dalam sistem yang membutuhkan arus input 21,7 A.

Desain Perhitungan Inverter 3 fasa dan pemakaian aki

Efisiensi Inverter = 80 %
Efisiensi = Pout Inverter/ Pin Inverter
Pin Inverter = Pout Inverter/Eefisiensi
= 1000/0,8 = 1250 Watt
; Pin Inverter = Pout Full bridge
Efisiensi Full Bridge = 80 %
Efisiensi = Pout Full Bridge/Pin Full Bridge
Pin Full Bridge = Pout Full Bridge/Efisiensi
= 1250 / 0,8
= 1562,5 Wattt

Dari perhitungan diatas kita dapat mengetahui Arus masukan Full Bridge yang nilainya sama dengan arus yang dikeluarkan aki:

Pin Full Bridge = Vin . In
 $I_{in} = P_{in} \text{ Full Bridge} / V_{in}$
= 1562,5/72
= 21,7 A

Jika Asumsi lama pemakaian dari mobil listrik sekitar 3 jam, maka kapasitas aki dapat dihitung dengan **persamaan (3.1)**.

$$T_a = I_{in} \times \text{Lama pemakaian (jam)} \dots\dots(3.1)$$

Keterangan : T_a = Lama pemakaian arus baterai (dalam Ah)

Maka,

$$T_a = 21,07 \times 3$$

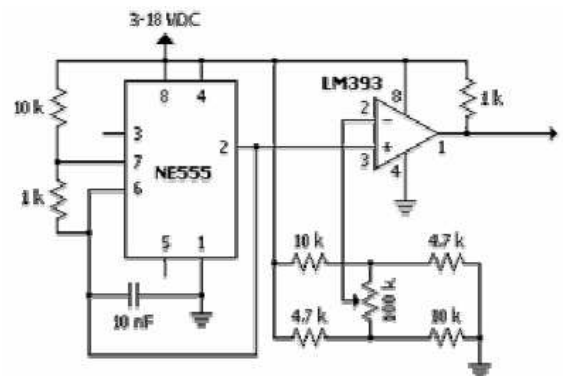
$$= 63 \text{ Ah}$$

Maka kapasitas baterai yang dibutuhkan adalah 63 Ah, namun baterai yang tersedia adalah dengan kapasitas 36 Ah sehingga memungkinkan beroperasi sekitar selama 1 jam.

2.3 Rangkaian PWM analog

Pada sistem ini Rangkaian PWM analog digunakan untuk memproduksi sinyal PWM untuk *switching* konverter.

Bentuk skema rangkaian PWM analog terlihat seperti pada **Gambar 2.2**.



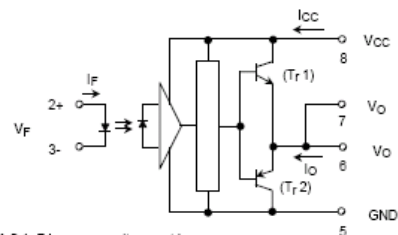
Gambar 2.2. Rangkaian PWM analog

2.4 Rangkaian optocoupler dan totem pole

Rangkaian *optocoupler* digunakan sebagai kopling atau penyekat antara tegangan rendah dan tegangan tinggi diantara PWM dengan konverter DC-DC sedangkan *totem-pole* untuk menguatkan arus dalam penyulutan pada IGBT.

Didalam desain driver ini digunakan opto tipe TLP 250 yang didalamnya selain terdapat opto tetapi juga dilengkapi oleh *totem pole* yang dapat *switching* pada frekuensi hingga 1 MHz dan juga cocok untuk *switching mosfet* atau IGBT dengan frekuensi tinggi dan tegangan tinggi. sehingga cocok sebagai driver untuk rangkaian *full bridge converter* ini.

Bentuk skema rangkaian IC opto TLP 250 terlihat seperti pada **Gambar 2.3**.



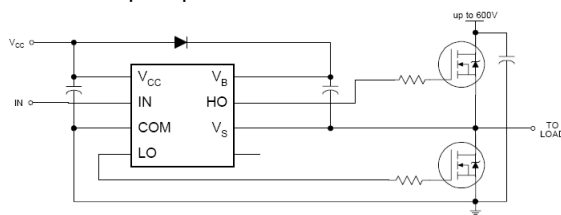
A 0.1µF bypass capacitor must be connected between pin 8 and 5 (See Note 5).

Gambar 2.3. rangkaian opto TLP 250

2.5 IC Halfbridge driver IR2111

IC *Halfbridge driver* IR2111 digunakan sebagai pengatur perubahan kondisi *on* dan *off* pada *igbt* maupun *mosfet* yang dilengkapi dengan adanya *internally set dead time* sehingga menghindarkan adanya *shoot* pada saat proses *switching* berlangsung cepat dalam frekuensi hingga 1 MHz dengan *dead time* sebesar 10 % selain itu juga tersedianya *floating ground channel high side* dan *low side* pada sisi *output*.

Bentuk skema rangkaian IC half bridge driver IR 2111 terlihat seperti pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4. rangkaian IC driver IR2111

- Frekuensi *switching* : 40 KHz
- Tegangan keluaran : 311 Vdc
- Tegangan masukan : 72 Vdc
- Arus beban : 4,02 A (max)
- *Ripple* Arus : 30% (1,206 A)
- *Ripple* tegangan : 0,25% (0,0025V)
- *Duty Cycle* : 80%
- Arus masukan : 21,7 A
- Efisiensi : 80%
- Daya keluaran : 1250 watt
- Daya masukan : 1568,5 watt

Dari perhitungan diatas maka didapat desain komponen seperti pada **Table 3.1** di bawah ini.

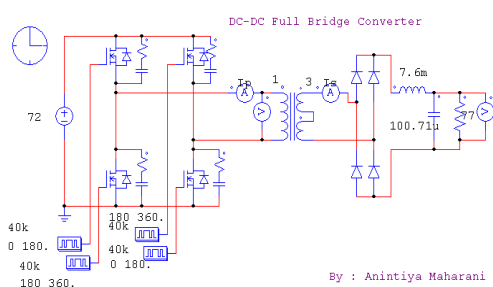
Tabel 3.1 Desain komponen

No.	Komponen	Nilai	Ket
1.	High Frequency Trafo	Perbandingan 1:3; Np : 12 lilitan; Ns : 36 lilitan	Step-up
2.	Induktor	1,93 mH; 311 lilitan	Filter
3.	Kapasitor	440 uF/ 450 Vdc	Filter

3. PERANCANGAN DESAIN RANGKAIAN

3.1 Full bridge converter

Full bridge converter yang pada proyek ini digunakan sebagai *power supply* untuk inverter 3 fasa untuk menggerakkan motor induksi 3 fasa. Rangkaian *full bridge converter* ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu IGBT sebagai *switch*, *high frequency trafo*, 4 dioda *fast recovery* sebagai *rectifier*, *filter* induktor, *filter* kapasitor, dan beban. Gambar rangkaian *full bridge converter* terlihat seperti **Gambar 3.1**.

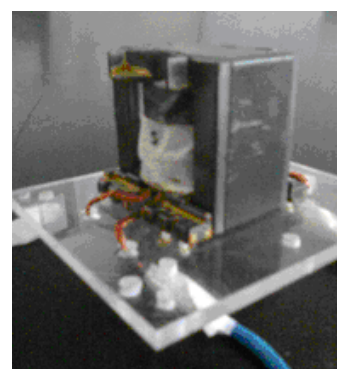


Gambar 3.1. Rangkaian *full bridge converter*

Untuk mendesain konverter yang baik diperlukan perhitungan nilai komponen-komponen yang tepat. Karena nilai komponen yang tidak tepat, dapat menyebabkan hasil *output* yang kurang baik, seperti keluarnya *ripple* tegangan dan arus yang terlalu besar. Untuk mendesain rangkaian konverter, perlu ditetapkan beberapa parameter, yaitu:

4. High frequency trafo

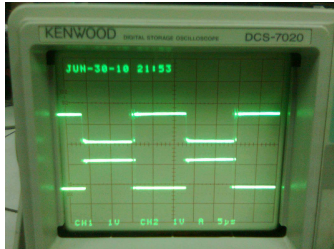
High frequency trafo yang didesain pada proyek akhir ini digunakan sebagai penaik tegangan sebesar 3 kali. Dalam *converter* di *switching* pada frekuensi 40 kHz sehingga digunakan inti ferrit model EE sebagai *core*-nya.



Gambar 4.1. *High frequency trafo*

4.1 PENGUJIAN RANGKAIAN PWM

Berikut adalah Gambar gelombang keluaran sinyal tegangan dari PWM seperti terlihat pada Gambar 4.2 berikut

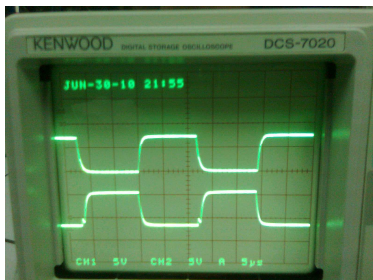


Gambar 4.2 Gelombang tegangan keluaran PWM Non Inverting dan Inverting

4.2 PENGUJIAN RANGKAIAN OPTO COUPLER DAN TOTEMPOLE

Rangkaian *opto coupler* dan *totem-pole* digunakan sebagai penyekat antara tegangan rendah ke besar dan juga sebagai penguat arus sinyal *output* yang dihasilkan oleh PWM dan digunakan untuk mengendalikan konverter.

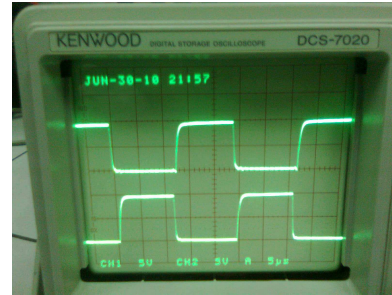
Pengujian rangkaian *totem-pole* digunakan untuk mengetahui kualitas sinyal yang keluar dari *totem-pole* apakah mampu mewakili sinyal *input* yang dihasilkan oleh PWM. Karena apabila terdapat perubahan *duty cycle* pada *output totem-pole* maka akan menyebabkan sulitnya kontroler bekerja. Gambar gelombang tegangan *output* rangkaian *totem-pole* dan *opto coupler duty cycle 50%* terlihat seperti pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Gelombang tegangan keluaran Optocoupler TLP250 Non Inverting dan Inverting

4.3 PENGUJIAN RANGKAIAN DRIVER IR2111

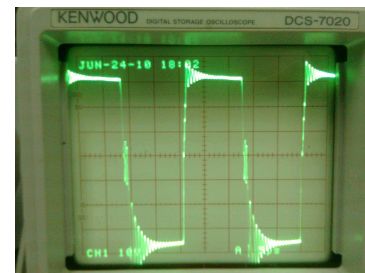
Rangkaian driver IR2111 digunakan sebagai pengatur perpindahan *switching* dari saat *on* dan *off* sinyal input yang dihasilkan oleh PWM dan dengan adanya *internally set dead time* sebesar 10% sehingga terhindar dari *shoot* serta menyediakan floating ground pada kedua *channel high side* dan *low side* digunakan untuk mengendalikan konverter. Gambar gelombang sinyal tegangan terlihat pada Gambar 4.6



Gambar 4.6 Gelombang tegangan keluaran IC IR2111 channel 1 sisi high output dan low output

4.4 PENGUJIAN RANGKAIAN FULLBRIDGE

Rangkaian *full bridge* digunakan sebagai *system switching* tegangan dengan keadaan *on* dan *off* secara bergantian digunakan untuk mengendalikan konverter. Gambar gelombang sinyal tegangan hasil *switching* dari rangkaian *Full Bridge* IGBT terlihat pada Gambar 4.7



Gambar 4.7. Gelombang hasil switching FullBridge dengan tegangan input 33 Volt DC

4.5 PENGUJIAN HIGH FREQUENCY TRANSFORMATOR

Pengujian *high frequency transformator* dilakukan untuk mengetahui kemampuan dari trafo yang sudah didesain apakah sudah sesuai dengan perbandingannya untuk menaikkan tegangan yang diinginkan. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.10.



Gambar 4.8. Hasil pengujian sinyal tegangan keluaran pada rangkaian high frequency transformator

Setelah dilakukan pengujian, didapatkan data bahwa memang benar kemampuan *high frequency*

transformator sudah sesuai dengan perbandingan pada desain awal yaitu 1:3.

4.6 PENGUKURAN NILAI INDUKTOR

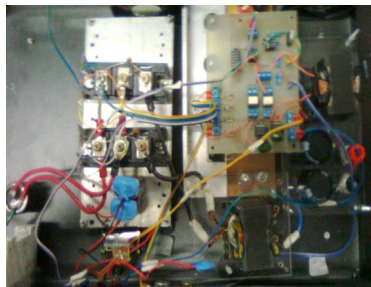
Pengukuran nilai induktansi induktor menggunakan LCR *meter* dan disapatkan hasil seperti pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1. Hasil pengukuran induktor

Perhitungan teori	Pengukuran dengan LCR	Ket
1.93 mH	2.10 mH	Sebagai Low pass filter

4.7 PENGUJIAN FULL BRIDGE CONVERTER

Pengujian konverter digunakan untuk mengetahui respon konverter terhadap perubahan duty cycle inputnya. Hal ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan hasil *output* dengan perhitungan secara teoritis. Secara fisik, rangkaian konverter terlihat seperti **Gambar 4.11**.



Gambar 4.9. Rangkaian Full Bridge konverter

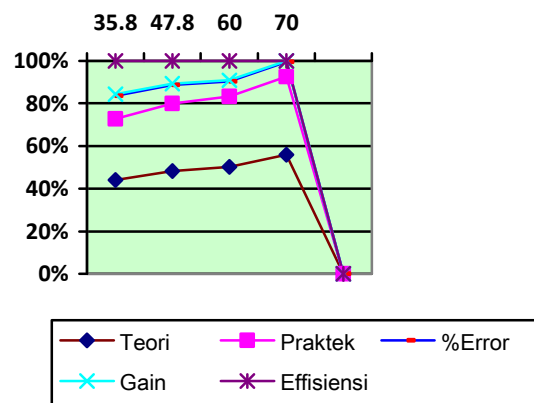
Konverter ini difungsikan sebagai step up DC-DC konverter yang mengeluarkan tegangan *output* berdasarkan tegangan input dan besar *duty cycle* sinyal PWM yang men-*drive* bagian *switching* yang dalam hal ini digunakan IGBT. Dalam pengujiannya, konverter diberi input 35,8-70 volt dan diberi sinyal *drive* dengan *duty cycle* 50%. Secara teoritis, *output* konverter akan bernilai sebanding dengan *duty cycle* PWM yang digunakan untuk menyulut IGBT. Namun dalam pengujiannya *output converter* tidak mampu menghasilkan keluaran tegangan dengan *duty cycle* diatas 50% dikarenakan ketidakseimbangan besarnya arus pada rangkaian penyearah. Seperti yang terlihat pada **Tabel 4.2**. dan **Gambar 4.10**. *output* konverter mempunyai perbedaan dengan teorinya. Terdapat beberapa hal yang menyebabkan munculnya nilai yang berbeda antara perhitungan secara teori dengan pengukuran dalam pengujian, salah satu diantaranya yaitu *duty cycle* yang berubah setelah sinyal PMW dari rangkaian PWM analog masuk ke rangkaian *optocoupler* dan *totem-pole*. Hal ini dikarenakan respon dari *opto-isolator* yang lebih rendah dari pada kecepatan *switching* PWM.

Tabel 4.2 Tabel pengujian Full Bridge converter dengan *duty cycle* 50 %

NO.	VIN	VO TEORI	VO PRAK	Iin (A)	Iout (A)	ΔV_o	η (%)	% ERROR
1.	35,8	143,2	93	0,6	0,1	2,6	43,3	35
2.	47,8	191,2	125	0,7	0,1	2,61	37,3	34,6
3.	60	240	158	0,8	0,1	2,63	32,9	34
4.	70	280	183	1	0,1	2,6	26	34,6

Berikut adalah data yang telah didapat yang disajikan dalam grafik.

Grafik perbandingan VO teori dan praktek serta persen error



Gambar 4.10. Grafik perbandingan VO teori dan praktek serta persen error

Berikut adalah **Tabel 4.3** Tabel data pengujian yang sudah diintegrasikan dengan inverter 3 fasa dan motor induksi 1 Hp 220 Vac/ 3,3 A.

Tabel 4.3 Tabel data pengujian Integrasi

Jumlah aki	Vin Full Bridge	Vout rangk. Inverter	Vout Trafo step up	Vout Full Bridge	Vout Inverter 3 fasa
4	42.8 Vdc	38.4 Vac	97 Vac	125 Vdc	102 Vac
5	58.7 Vdc	53 Vac	144 Vac	158 Vdc	129 Vac
6	69.9 Vdc	62.8 Vac	185 Vac	183 Vdc	148.5 Vac

5. KESIMPULAN

Setelah melalui beberapa proses perencanaan, pembuatan dan pengujian alat serta dari data yang didapat dari perencanaan dan pembuatan *Full Bridge Converter*, maka dapat disimpulkan beberapa hal, bahwa:

1. Pemakaian topologi *Full Bridge converter* lebih tepat karena dalam teori dapat didesain untuk menghasilkan daya besar hingga lebih dari 1 kW, namun dengan komponen yang memadai dan sesuai kemampuannya.
2. *Full Bridge converter* yang dibuat mampu menghasilkan 183 volt dari sumber tegangan (6 buah aki) sebesar 70 volt dengan *duty cycle* sebesar 50% dengan kemampuan arus *input* 1 A dan arus *output* 0,1 A dengan pengujian mencatu inverter dan motor berfrekuensi 50 Hz dan daya 1 HP.
3. *Full Bridge converter* yang dalam perencanaan di-*switching* dengan frekuensi 40 kHz dan *duty cycle* 80% namun dalam uji coba yang telah dilakukan hanya mampu dengan *duty cycle* 50% dikarenakan keterbatasan kemampuan komponen dalam hal ini adalah kapasitas arus *diode* penyearahannya.
4. Dalam pengujian yang telah dilakukan dengan *duty cycle* 50% dan tegangan *input* 70 Volt dengan beban motor dengan daya 1 HP dapat menghasilkan tegangan *output* sebesar 183 volt yang berarti mengalami penguatan atau kenaikan sebesar 2,6 kali dari tegangan *input*, yang seharusnya 3 kali, hal ini dikarenakan *duty cycle* yang hanya 50% yang seharusnya adalah pada desain awal yaitu 80% dan juga karena adanya *losses* yang menyebabkan *drop* tegangan dari trafo dan induktor.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. N. Mohan, T. Undeland, and W. Robbins, "Power Electronics: Converters", Applications, and Design, 2nd ed., New York: John Wiley & Sons, 1995.
2. Effendi, Moh. Zaenal, "Design of inductor", power point materi kuliah, Surabaya: PENS-ITS, 2007
3. Rashid M.H., "Power Electronics: Circuits, Devices and Applications", Prentice Hall, 1988. Fernuniversität-Gesamthochschule Hagen; in Germany
4. Ajitha S.N. K.alaiarasi: "Implementation of Full-Bridge Current-Fed Resonant Boost Converter using PIC microcontroller"; *2010 International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 1 – No.*
5. P. C. Sen, "Electric Motor Drives and Control – Past, Present, and Future", *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 37 NO. 6, Dec., 1990.
6. Pepa, Elton: "Adaptive Control of a Step-Up Full-Bridge DC-DC Converter for Variable Low Input Voltage Applications"; Thesis submitted to the faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, February 6, 2004. in Blacksburg, Virginia
7. Dudrik Jaroslav, Oetter Juraj: "High-Frequency Soft-Switching DC-DC Converters for Voltage and Current DC Power Sources"; *Acta Polytechnica Hungarica Vol. 4, No. 2, 2007.*
8. id.Wikipedia.org/wiki/IGBT, *IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)*, : id.Wikipedia.org: Indonesia 2009