

“Desain dan Analisa Bidirectional Inverter Sebagai Penggerak Mesin Induksi Satu Fasa dengan Sumber Baterai DC 36 Volt ”

Abi Yusuf Aulia, Amir Hamzah**, Nurhalim*

*Alumni Teknik Elektro Universitas Riau **Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau
Kampus Binawidya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
Jurusan Teknik Elektro Universitas Riau

Email: yusuf.abi1@gmail.com

ABSTRACT

Increasing oil prices and global warming, many people think to developed energy technology. One of them is the bidirectional DC-DC / DC-AC converter. Bidirectional that mean the converter can work in both directions. In this journal, the writer proposed bidirectional DC/AC inverter. Bidirectional inverter is an inverter that works in both directions. Which can convert AC input into a DC output or otherwise. In this paper discusses a single phase AC induction machine can rotates when fed DC voltage from the battery. And at the time of Induction Machines apply a voltage from utility (PLN), the battery can be charged. Bidirectional switching inverter using PWM mode. Bidirectional inverter modeling is simulated by using software MATLAB / Simulink.

Keywords : Energy Technology, Bidirectional Inverter, PWM, MATLAB

1. PENDAHULUAN

Dengan meningkatnya harga minyak dunia dan pemanasan global, perusahaan manufaktur *automobile* lebih banyak memproduksi kendaraan listrik. Pada kendaraan listrik, motor penggerak terdiri dari motor listrik, konverter daya dan pengendali elektronik merupakan inti dari sistem penggerak kendaraan listrik (Ellaban, Omar. 2011).

Telah banyak penelitian yang difokuskan pada pengembangan baru DC/DC konverter dan inverter yang disesuaikan untuk hibrid dan aplikasi kendaraan listrik. Satu diantaranya ialah dengan topologi ZSI. *Z-Source Inverter* (ZSI) merupakan sebuah topologi konversi elektronika daya yang sangat menarik seperti karakteristik *buck-boost* dan konversi satu tahap (Ellaban, Omar. 2011).

Dengan membaca berbagai literatur, banyak ditemukan jurnal yang membahas topologi konversi elektronika daya yang digunakan pada sistem daya kendaraan hibrid tingkat lanjut (Ellaban, Omar. 2011).

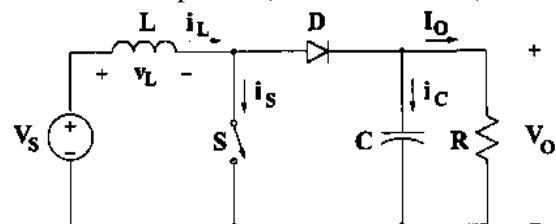
Topologi dari *Bi-directional* ZSI dimana dasar topologi ZSI telah berganti menjadi topologi *Bi-directional* ZSI, dengan

mengganti masukan Dioda dengan saklar dua arah. Sehingga BZSI dapat mengubah antara tegangan AC maupun tegangan DC yang terdapat dikedua arah. Juga, BZSI mampu menghindari mode operasi yang tidak diinginkan ketika ZSI beroperasi dengan induktansi yang kecil maupun faktor daya beban yang rendah (Ellaban, Omar. 2011).

2. LANDASAN TEORI

2.1 Konverter Penaik

Konverter penaik merupakan konverter DC-DC penaik tegangan. Konverter ini terdiri dari sumber tegangan input DC (V_s), induktor penaik (L), saklar pengendali (S), dioda (D), filter kapasitor (C), dan resistansi beban (R). Berikut ini merupakan gambar rangkaian DC-DC konverter penaik (MH Rashid:2001).



Gambar 1 Rangkaian skematis konverter penaik (MH.Rashid:2001)

Dengan menggunakan hukum Faraday untuk induktor penaik:

$$V_s DT = (V_o - V_s)(1 - D)T \quad (1)$$

Sehingga fungsi transfer tegangan DC menjadi:

$$M_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1 - D} \quad (2)$$

Sesuai dengan nama konverter ini, tegangan keluaran selalu lebih besar daripada tegangan masukannya.

Untuk nilai filter induktor ialah.

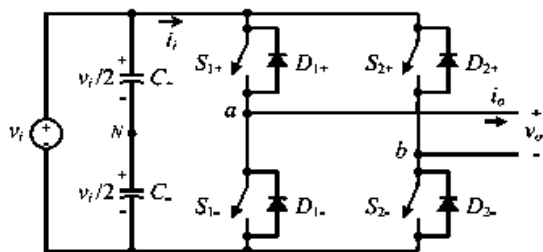
$$L_b = \frac{(1 - D)^2 DR}{2f} \quad (3)$$

Lalu, untuk filter kapasitor diberikan dengan persamaan :

$$C_{\min} = \frac{DV_o}{V_r Rf} \quad (4)$$

2.2 Inverter

Pada dasarnya *inverter* merupakan sebuah alat yang membuat tegangan bolak-balik dari tegangan searah dengan cara pembentukan gelombang tegangan. Namun gelombang tegangan yang terbentuk dari *inverter* tidak berbentuk sinusoidal melainkan berbentuk gelombang tegangan persegi. Berikut ini merupakan gambar inverter satu fasa jembatan penuh.



Gambar 2 Inverter VSI satu fasa jembatan penuh (MH.Rashid:2001)

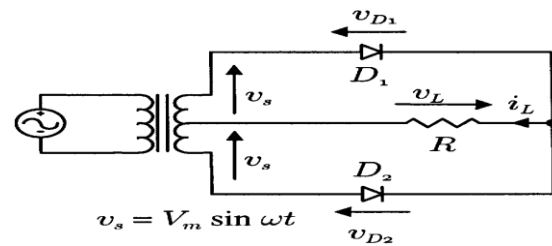
Tegangan keluaran pada inverter VSI jembatan penuh pada dasarnya adalah gelombang sinusoidal yang memiliki komponen fundamental dari amplitudo V_o yang memenuhi persamaan :

$$V_o = V_{ab1} = V_i m_a \quad (5)$$

2.3 Penyearah

Ada dua jenis dari penyearah satu fasa gelombang penuh, yaitu penyearah gelombang penuh center tap trafo dan penyearah jembatan. Gambar rangkaian dari penyearah gelombang

penuh dengan trafo center tap ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 3 Penyearah gelombang penuh dengan trafo center-tap (MH Rashid:2001)

Keluaran dari kedua penyearah setengah gelombang dikombinasikan untuk menghasilkan gelombang penuh pada beban. Pada trafo tersebut, arus DC dari kedua penyearah setengah gelombang yang sama dan berlawanan sehingga tidak ada masalah pada saturasi pada inti trafo (MH Rashid:2001).

Persamaan tegangan dari nilai rata-rata tegangan beban V_L adalah :

$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T V_L(t) dt \quad (6)$$

Persamaan arus beban dari I_L adalah I_{dc} dan karena beban R adalah murni resistif maka:

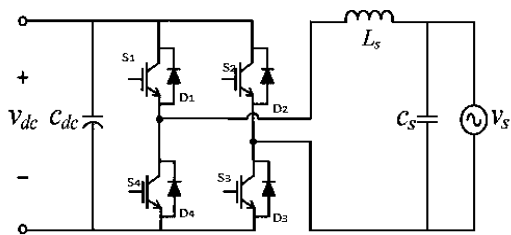
$$I_{dc} = \frac{V_{dc}}{R} \quad (7)$$

Nilai rms dari arus beban I_L adalah I_L dan dapat ditulis sebagai :

$$I_L = \frac{V_L}{R} \quad (8)$$

2.4 Bi-directional inverter

Bi-directional inverter merupakan piranti elektronika daya yang berfungsi untuk merubah tegangan masukan DC menjadi tegangan keluaran AC dan sebaliknya dalam dua arah. Sehingga inverter ini dapat mengubah tegangan masukan AC menjadi tegangan keluaran DC maupun sebaliknya dari DC ke AC. Berikut adalah gambar skematis untuk *bi-directional inverter*.



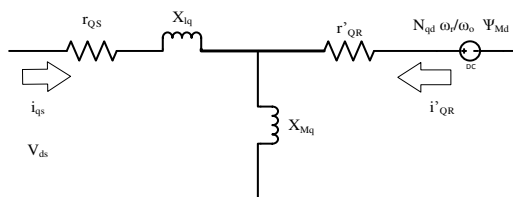
Gambar 4 Rangkaian skematis *bi-directional inverter* (Situmorang, Leonardo : 2012)

2.5 Mesin Induksi Satu Fasa

Mesin induksi satu fasa dapat dioperasikan sebagai motor dan generator. Kelebihan dari mesin induksi dibanding dengan mesin sinkron yaitu konstruksi sederhana, tidak membutuhkan sikat, andal, biaya dan perawatan rendah (Martina, Elfi:2015).

2.5.1 Rangkaian Ekuivalen Mesin Induksi 1 Fasa

Rangkaian ekuivalen mesin induksi satu fasa digambarkan sebagai berikut.



Gambar 5 Rangkaian Ekuivalen Mesin Induksi Satu Fasa (Martina, Elfi:2015)

2.6 PWM

PWM merupakan sebuah mekanisme untuk membangkitkan sinyal keluaran yang periodenya berulang antara *high* dan *low* dimana kita dapat mengontrol durasi sinyal *high* dan *low* sesuai dengan yang kita inginkan. *Duty cycle* merupakan prosentase periode sinyal *high* dan periode sinyal, prosentase *duty cycle* akan bebanding lurus dengan tegangan rata-rata yang dihasilkan (Gultom, L:2011).

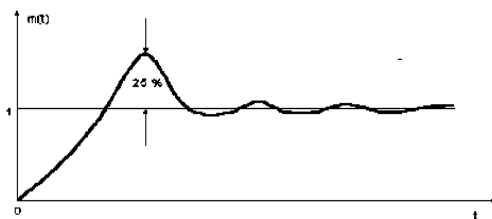
2.7 Kontrol PID

Kontrol PID (*Proportional-Integral-Derivative*) merupakan kombinasi dari tiga jenis kontroler. Jika masing-masing dari ketiga jenis kontroler tersebut berdiri sendiri maka hasil yang dicapai kurang baik, sebab masing-masing memiliki kelebihan dan kelemahan sendiri-sendiri. Kombinasi dari ketiga jenis

kontroler tersebut menjadi satu sistem kontrol tunggal, diharapkan mampu memberikan kontribusi dari kelebihan masing-masing (Suhendra, Doni:2014).

2.8 Metode Ziegler-Nichols

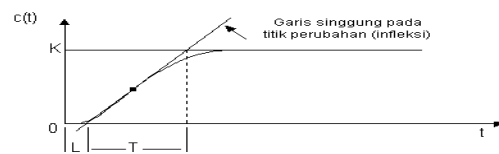
Ziegler-Nichols pertama kali memperkenalkan metodenya pada tahun 1942. Metode ini memiliki dua cara, metode osilasi dan kurva reaksi. Kedua metode ditujukan untuk menghasilkan respon sistem dengan lonjakan maksimum sebesar 25%. Gambar 6 memperlihatkan kurva dengan lonjakan 25% (Suhendra, Doni:2014)



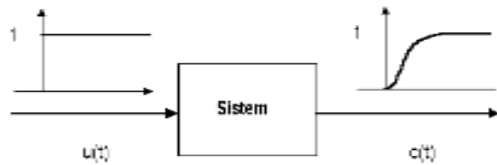
Gambar 6 Kurva Respon Tangga Satuan Yang Memperlihatkan 25 % Lonjakan Maksimum (Suhendra, Doni:2014)

2.8.1 Metode Kurva reaksi

Metode ini didasarkan terhadap reaksi sistem untai terbuka. Plant sebagai untai terbuka dikenai sinyal fungsi tangga satuan seperti terlihat pada Gambar 7. Kalau plant minimal tidak mengandung unsur integrator ataupun pole-pole kompleks, reaksi sistem akan berbentuk S. Gambar 8 menunjukkan kurva berbentuk S tersebut. Kelemahan metode ini terletak pada ketidakmampuannya untuk plant *integrator* maupun plant yang memiliki pole kompleks (Suhendra, Doni:2014).



Gambar 7 Respon Tangga Satuan Sistem (Suhendra, Doni:2014)



Gambar 8 Kurva Respon Berbentuk S (Suhendra, Doni:2014)

Penalaan parameter PID didasarkan perolehan kedua konstanta itu. Zeigler-Nichols melakukan eksperimen dan menyarankan parameter penyetelan nilai K_p , T_i , dan T_d dengan didasarkan pada kedua parameter tersebut. Tabel 1 merupakan rumusan penalaan parameter PID berdasarkan cara kurva reaksi (Suhendra, Doni:2014).

Tabel 1 Penalaan Paramater PID Dengan Metode Kurva Reaksi (Suhendra, Doni:2014)

TIPE KONTROLER	K_P	T_I	T_D
P	T/L	~	0
PI	0.9 T/L	L/0.3	0
PID	1.2 T/L	2L	$\frac{1}{2} L$

3. Metode Penelitian

3.1 Alat dan Bahan

Adapun sarana yang digunakan untuk menyelesaikan tugas akhir ini antara lain :

1. Laptop ACER E5-471
2. Software Matlab R2013a.

3.2 Prosedur Penelitian

3.2.1 Desain Baterai

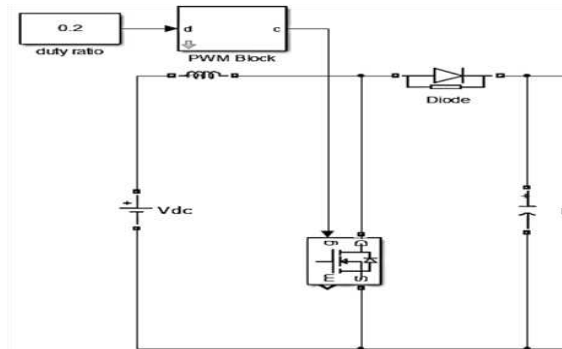
Pada penelitian ini, baterai yang digunakan ialah menggunakan baterai (aki) basah dengan tegangan 12 Volt DC yang disusun seri sebanyak 3 buah, 150 Ah. Berikut merupakan spesifikasi baterai yang digunakan:

Tabel 2 Spesifikasi Baterai yang digunakan

Jenis Baterai	Lead Acid
Tegangan Nominal	12 Vdc
Kapasitas Nominal	150 Ah
Tahanan Dalam	3.5 m Ω
Arus Pengisian	45 A
Standby Use	13.6-13.8 Vdc

3.2.2 Desain Konverter Penaik

Konverter penaik digunakan untuk meningkatkan tegangan masukan DC 36 Volt menjadi 44.8 Vdc. Berikut merupakan gambar skematis dari konverter penaik.



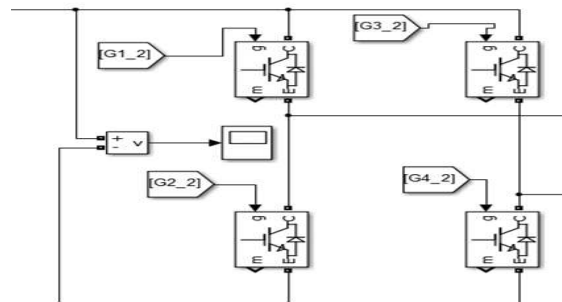
Gambar 9 Rangkaian Konverter Penaik

Tabel 3 Parameter konverter penaik

Tegangan Masukan	36 Vdc
Induktor konverter penaik	25.6 μ H
Kapasitor konverter penaik	25 mF
Rasio Kerja	0.2
Frekuensi pensaklaran	25000 Hz
Tegangan Keluaran Konverter Penaik	44.8 Vdc

3.2.3 Inverter

Inverter merupakan peralatan elektronika daya yang berfungsi untuk mengubah tegangan masukan DC menjadi tegangan keluaran AC. Pada rangkaian inverter ini, menggunakan pensaklar IGBT. Pensaklaran IGBT ini dilakukan secara bergantian. Yaitu ketika saklar S1 dan S4 hidup, maka saklar S2 dan S3 akan mati. Begitu juga dengan sebaliknya. Berikut ini merupakan rangkaian skematis dan parameter inverter.



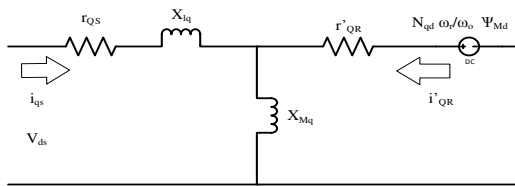
Gambar 10 Rangkaian Inverter

Tabel 4 Parameter Inverter

Tegangan Masukan	44.8 Vdc
Tegangan Keluaran	43.5 Vac _{puncak}
Frekuensi Pensaklaran	50 Hz

3.2.4 Mesin Induksi Satu Fasa

Mesin induksi satu fasa dapat dioperasikan sebagai motor dan generator. Pada penelitian ini, mesin induksi satu fasa telah dijadikan menjadi rangkaian ekivalen impedansi (Z). Berikut ini merupakan rangkaian ekivalen mesin induksi satu fasa sumbu q.



Gambar 11 Rangkaian Ekivalen Mesin Induksi Satu Fasa sumbu q

Sehingga nilai impedansi untuk rangkaian ekivalen mesin induksi satu fasa sumbu q ialah :

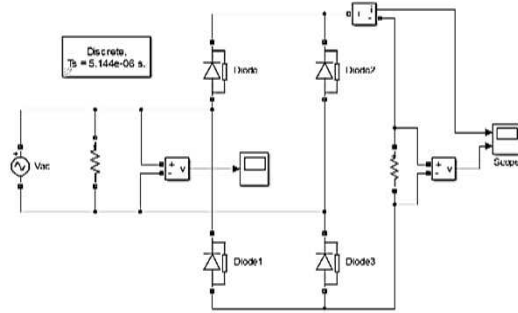
Tabel 5 Impedansi Ekivalen Mesin Induksi Satu Fasa

Tegangan Kerja Mesin Induksi	30 Vac
Arus Mesin Induksi	4.75 Amp
r_{QS}	3.75 Ω
X_{Lq}	2.68 Ω
r'_{QR}	5.23 Ω
X_{Mq}	9.69 Ω
Total Impedansi Keseluruhan	7.79+j4.88 Ω

3.2.5 Penyearah

Penyearah digunakan untuk menyearahkan tegangan masukan AC menjadi tegangan keluaran DC. Guna dari penyearah ini ialah, ketika mesin induksi satu fasa digerakkan dari tegangan AC, maka mesin induksi menjadi generator. Pada saat mesin induksi menjadi generator, maka mesin induksi dapat mengisi baterai pada sisi tegangan DC. Penyearah

menggunakan saklar dioda. Berikut gambar skematis dari penyearah.



Gambar 12 Rangkaian Penyearah

Berikut ini merupakan parameter dari penyearah.

Tabel 6 Parameter Penyearah

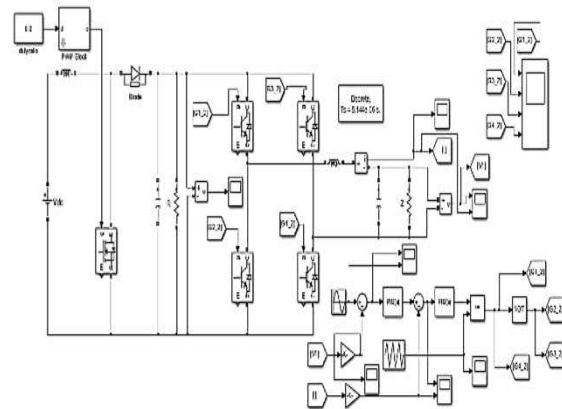
Tegangan Masukan AC	42.5 Vac _{puncak}
Impedansi Ekivalen MI Satu Fasa	7.79+j4.88 Ω
Frekuensi Pensaklaran	50Hz
Tegangan Keluaran Penyearah	41.1 Vdc

3.2.6 Bi-Directional Inverter

Bi-directional inverter merupakan piranti elektronika daya yang berfungsi untuk merubah tegangan *input* DC menjadi tegangan keluaran AC dan sebaliknya dalam dua arah.

3.2.6.1 Mode Inverter

Fungsi dari *inverter* ialah mengubah tegangan DC ke AC. Berikut adalah gambar skematis untuk *bi-directional inverter*



Gambar 12 Rangkaian Skematis *bi-directional inverter* mode inverter

3.2.6.1.1 Prinsip Kerja

Pada mode ini, tegangan masukan DC akan diubah menjadi tegangan keluaran AC. Sebelum diubah menjadi tegangan AC, tegangan DC dari baterai terlebih dahulu dinaikkan melalui konverter penaik. Yaitu konverter menaikkan tegangan masukan baterai sebesar 36 Vdc menjadi 44.8 Vdc. Dengan rasio kerja sebesar 0.2. Setelah tegangan masukan dari baterai dinaikkan, maka tegangan DC diolah menjadi tegangan AC pada rangkaian inverter. Pada inverter menggunakan pensaklaran IGBT. Parameter dari inverter ini ialah :

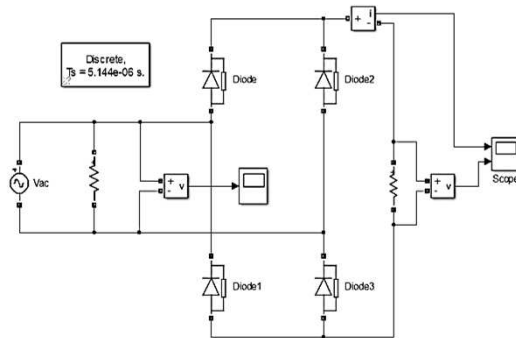
Tabel 7 Parameter Bidirectional Inverter mode inverter

Teg. Baterai	36 Vdc
Tegangan MI	30 Vac
Rasio kerja	0.2
Filter Induktor Konverter Penaik	2.56×10^{-5} H
Penguatan Sensor Tegangan	0.01
Arus Keluaran Inverter	5.1 Amp
Filter Kapasitor Konverter Penaik	25 mF
PID kontrol	$K_p = 4.8$ $K_i = 0.4$ $K_d = 0.1$
Impedansi Ekuivalen MI 1 Fasa	$7.79 + j4.88 \Omega$
Frek. Pensaklaran (konverter penaik dan inverter)	25000Hz dan 50 Hz
Penguatan Sensor Arus	0.01
Tegangan Keluaran Inverter	43.5 Vac _{puncak}

3.2.6.2 Mode Penyearah

Pada mode penyearah, tegangan masukan AC dari mesin induksi satu fasa diubah menjadi tegangan keluaran DC. Tegangan masukan AC diubah dengan

menggunakan pensaklar dioda. Setelah tegangan AC dikonversikan menjadi tegangan DC, lalu tegangan keluaran DC yang telah dikonversikan digunakan untuk mengisi baterai DC 36 Volt 150Ah.



Gambar 13 Bi-directional inverter dalam mode penyearah

3.2.6.2.1 Prinsip Kerja

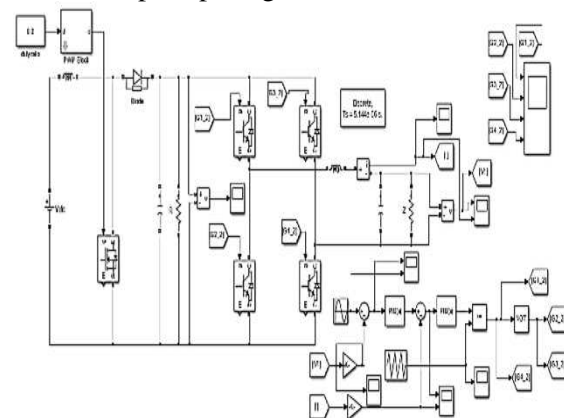
Selama mode penyearah ini, tegangan mesin induksi satu fasa bertegangan 30Vac mengirimkan tegangan AC lalu di searahkan pada penyearah. Nilai tegangan dan arus keluaran penyearah ialah sebesar 41.1Vac dengan nilai arus 42.5 A. Setelah tegangan AC dikonversikan menjadi tegangan DC oleh penyearah, tegangan DC tersebut mengisi baterai 36Vdc 150Ah.

4. HASIL ANALISIS BIDIRECTIONAL INVERTER

4.2 Analisis Simulasi Bidirectional Inverter

4.2.1 Analisis Simulasi Mode Inverter

Pada analisa pertama yang dilakukan ialah dengan menggunakan simulasi mode inverter seperti pada gambar 14.



Gambar 14 Rangkaian Skematis bi-directional inverter mode inverter

Pada mode ini, tegangan masukan DC akan diubah menjadi tegangan keluaran AC. Sebelum diubah menjadi tegangan AC, tegangan masukan dari baterai terlebih dahulu dikonversikan dengan menaikkan tegangan masukan pada rangkaian konverter penaik.

Dengan menggunakan hukum Faraday untuk induktor penaik ialah:

$$V_s DT = (V_o - V_s)(1 - D)T \quad (9)$$

Sehingga fungsi transfer tegangan DC menjadi :

$$M_v = \frac{V_o}{V_s} = \frac{1}{1 - D} \quad (10)$$

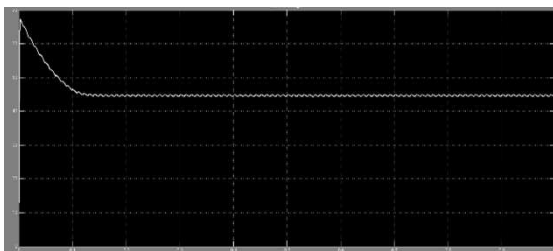
Konverter penaik beroperasi pada mode kontinu (CCM) untuk nilai $L > L_b$ dimana:

$$L_b = \frac{(1 - D)^2 DR}{2f} \quad (11)$$

Lalu, untuk filter kapasitor diberikan dengan persamaan :

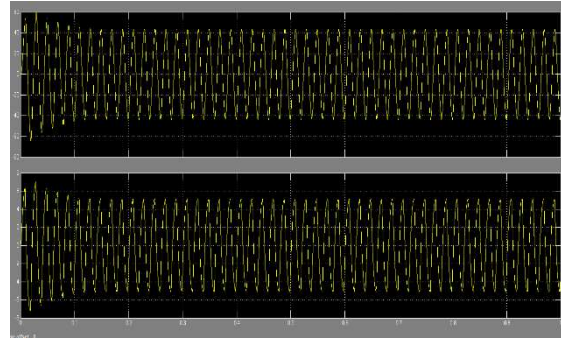
$$C_{\min} = \frac{DV_o}{V_r Rf} \quad (12)$$

Dengan menggunakan persamaan (9), hasil keluaran dari rangkaian konverter penaik ialah



Gambar 15 Hasil keluaran konverter penaik

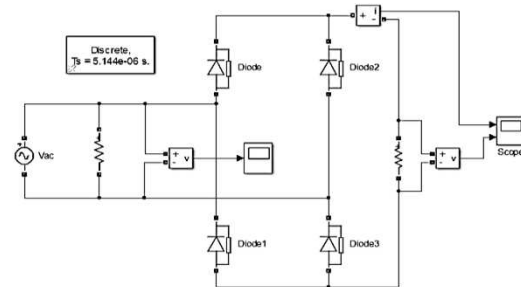
Setelah tegangan masukan dari baterai DC 36 volt dinaikkan pada konverter penaik, lalu tegangan keluaran konverter penaik tersebut menuju rangkaian inverter. Pada rangkaian inverter, tegangan masukan konverter penaik yang bersumber DC dikonversi menjadi tegangan AC.



Gambar 16 Tegangan dan Arus keluaran Bidirectional inverter pada inverter

4.2.2 Analisis Simulasi Mode Penyearah

Pada analisa kedua yang dilakukan ialah dengan menggunakan simulasi mode inverter seperti pada gambar 17.



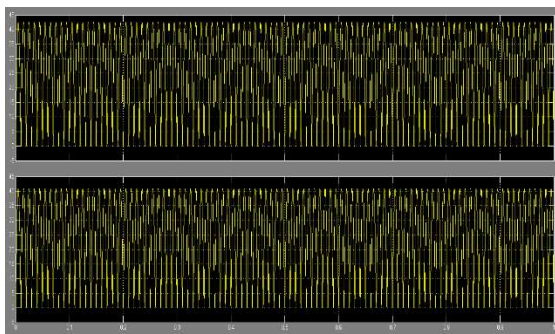
Gambar 17 Rangkaian Skematis bi-directional inverter mode penyearah

Pada mode ini, tegangan masukan AC dari mesin induksi satu fasa dikonversikan menjadi tegangan keluaran DC. Pengkonversian tegangan AC menjadi tegangan DC bertujuan untuk mengisi baterai DC 36 Volt 150Ah yang berfungsi untuk menggerakkan mesin induksi pada saat mesin induksi tidak digerakkan dengan sumber dari PLN.

Fungsi persamaan untuk tegangan keluaran pada penyearah ini ialah :

$$V_{dc} = \frac{1}{T} \int_0^T V_L(t) dt \quad (13)$$

Maka tegangan dan arus keluaran pada penyearah didapatkan seperti pada gambar berikut.



Gambar 18 Gambar tegangan dan arus keluaran *bidirectional* inverter pada mode penyearah

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi *bidirectional* inverter, maka penulis dapat menyimpulkan:

1. Perancangan inverter dua arah terdiri dari dua komponen utama, yaitu inverter dan penyearah. Rangkaian inverter terdiri dari konverter penaik dan rangkaian inverter. Sedangkan pada penyearah, terdiri dari penyearah jembatan penuh dan penyearah penaik.
2. Pada mode inverter, tegangan masukan dari baterai DC sebesar 36 Volt menghasilkan tegangan keluaran sebesar $43.5 \text{ Vac}_{\text{puncak}}$ dan arus sebesar 5.1A. Sehingga dapat menjalankan mesin induksi AC satu fasa yang bertegangan 30Vac dan arus 4.75 A.
3. Pada mode penyearah, tegangan masukan AC dari generator sebesar 42.5 $\text{Vac}_{\text{puncak}}$ menghasilkan tegangan keluaran sebesar 41.1 Vdc dan arus sebesar 42.5 A. Sehingga tegangan keluaran dari penyearah dapat mengisi baterai DC yang bertegangan nominal sebesar 36 Vdc berkapasitas 150Ah.

5.2 Saran

Penelitian yang telah dilakukan masih terdapat kekurangan. Salah satu kekurangan adalah harmonisa pada tegangan maupun arus pada inverter dan penyearah. Kekurangan ini dapat dijadikan sebagai bahan penelitian lanjutan yaitu cara mengurangi harmonisa pada tegangan maupun arus keluaran pada inverter dan penyearah dengan menggunakan filter kapasitor maupun induktor. Diharapkan dengan penelitian yang akan datang didapatkan cara

metode pengurangan harmonisa yang lebih efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- Adityawan, Aurino P. 2014. Sistem Pengisian Battery Lead Acid Secara Adaptive. Jurusan Teknik Elektronika, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Surabaya.
- Ellaban, Omar. 2011. *Control of a Bidirectional Z-Source Inverter for Electric Vehicle Applications in Different Operation Modes*, *Journal of Power Electronics*, Vol. 11, No. 2, Brussels.
- Ellaban, Omar. 2011. *Z-Source inverter for Vehicular Application*, IEEE, Brussels.
- Gultom, Leothamrin. 2011. Aplikasi Pembangkit PWM Pada Mikrokontroler ATmega 8535 Untuk Mengendalikan Suhu Pemanas Air (*Heater*). Fakultas MIPA, Departemen Fisika, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Martina, Elfi. 2015. Analisis dan Pemodelaan Motor Induksi Kapasitor Permanen dengan Rangkaian Ekuivalen Invers Γ . Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Riau, Pekanbaru.
- MH Rashid, et al. 2001. *Power Electronics Handbook*. Academic Press. Canada.
- Situmorang, Leonardo. 2012. Perancangan *Bidirectional Inverter* Untuk DC Mikrogrid. Skripsi Sarjana, Fakultas Teknik, Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Jakarta.
- Suhendra, Doni. 2014. Perancangan Alat Pengontrolan Frekuensi Dalam Pengaturan Kecepatan Motor Induksi Satu Fasa menggunakan Kontrol PID. Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Bengkulu, Bengkulu.
- Wibowo, Indra Angga. 2014. Analisa Perbandingan Perancangan Filter LCL pada Penyearah Terkendali Satu Fasa Full Converter dengan Penyearah PWM Satu Fasa Full Bridge. Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Jurusan Teknik Kejuruan, FKIP, Universitas Negeri Sebelas Maret, Surakarta.