

# Desain dan Analisa *Bidirectional Inverter* Untuk Menggerakkan Motor Induksi Tiga Fasa dengan Sumber Baterai 48 V

Bangun Suryadi<sup>1)</sup>, Amir Hamzah<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro <sup>2)</sup>Dosen Teknik Elektro

Laboratorium Teknik Elektro Universitas Riau

Program Studi Teknik Elektro S1, Fakultas Teknik Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR. Soebrantas KM 12,5 Simpang Baru, Panam, Pekanbaru 28293

E – mail : [bangunsuryadi0210@gmail.com](mailto:bangunsuryadi0210@gmail.com)

## ABSTRACT

*The supply of fossil energy is already at a critical time. Renewable energy such as sunlight and others are expected to cope with the energy crisis. The existing renewable still in the form of direct voltage. In automobile applications stored in the battery, which is used as the energy of the induction motor. So that a bidirectional inverter is needed to convert that directional voltage to rotate the induction motor. This research purposes to design and analyze bidirectional inverter to supply three phase Induction motor 380 V with 48 V Battery as the source. In Inverter mode, motor is supplied by battery, after the voltage is increased by the transformer. While it charge the battery through motor rotation in rectifier mode, after the voltage is decreased by the transformer. The design simulation is done by matlab simulink. It shows the performance able to achieve tehe minimum requirement of design specification*

**Keywords :** *Renewable energy, Bidirectional Inverter, SPWM, Three Phase Induction Motor, automobile application, MATLAB.*

## 1. Pendahuluan

Dengan menipisnya persediaan energi fosil, maka dimulai perkembangan penelitian pada energi alternatif dan terbarukan. Banyak ditemukan energi alternatif yang dikonversikan menjadi energi listrik. Energi yang di konversikan pada umumnya masih dalam tegangan dan arus searah. Oleh sebab itu agar dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan lebih luas maka perlu dikonversi menjadi tegangan dan arus bolak balik.

Pada industri manufakture *automobile* banyak dimanfaatkan energi alternatif ini dalam bentuk baterai.

Baterai ini digunakan sebagai sumber energi untuk menggerakkan motor induksi tiga fasa sebagai penggerak mobil. Motor induksi tiga fasa banyak digunakan karena memiliki banyak kelebihan selain harganya yang relatif lebih murah serta perawatannya yang lebih mudah. Akan tetapi sumber tegangan dan arus dari baterai perlu dikonversikan menjadi tegangan dan arus bolak balik agar dapat menggerakkan motor induksi tiga fasa tersebut. Sehingga untuk mendukung kerja pada masalah tersebut, maka diperlukan *bidirectional inverter* yang akan mengkonversi arus searah (DC)

menjadi arus bolak balik (AC) dan sebaliknya.

Dalam penelitian ini akan dirancang desain *bidirectional inverter* tiga fasa 48V sebagai pencatu tegangan motor induksi 220V pada aplikasi *automobile* dengan pola pensaklaran SPWM. Dimana *bidirectional inverter* ini terdiri dari enam buah MOSFET (*Metal oxide semiconductor field effect transistor*) sebagai komponen saklar, dan Transformator sebagai penaik dan penurun tegangan bolak balik (AC).

## 2. Landasan Teori

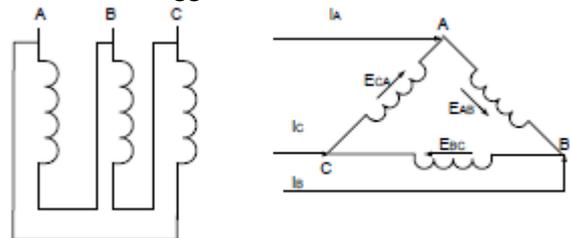
### 2.1 Motor Induksi Tiga Fasa

Motor listrik adalah alat yang mengubah energi listrik menjadi energi mekanik (gerak putar). Secara umum konstruksi motor listrik terdiri dari 2 bagian utama yaitu stator dan rotor. Stator adalah bagian yang diam sedangkan rotor adalah bagian yang berputar.

Prinsip kerja motor induksi tiga fasa berdasarkan induksi elektromagnetis. Bila kumparan tiga fasa stator diberi tegangan tiga fasa maka akan timbul fluks yang besarnya konstan. Fluks yang timbul akan memotong permukaan rotor yang semula diam sehingga timbul tegangan induksi pada kumparan rotor (ggl) dalam rangkaian tertutup sehingga arus mengalir dan timbul gaya. Rotor akan berputar searah dengan medan magnet putar tetapi kecepatan tidak akan sama dengan stator karena bila sama maka kecepatan relatif ( $nr$ ) = 0 sehingga rotor tidak akan terinduksi tegangan dan tidak ada arus yang mengalir lagi pada rotor akibatnya torsi tidak akan timbul. Karena itu rotor selalu berputar pada  $nr < ns$  akibatnya selalu timbul *slip*. [2]

### 2.2 Delta-Delta Transformator

Dalam hubungan delta-delta, tegangan pada sisi primer (sisi masukan) dan sisi sekunder (sisi keluaran) adalah dalam satu fasa. Sedangkan pada aplikasinya, jika bebanimbang dihubungkan ke saluran 1-2-3, maka hasil arus keluaran adalah sama besarnya. Hal ini menghasilkan arus line seimbang dalam saluran masukan A-B-C. Arus line yang didapat 1,73 kali lebih besar dari masing-masing arus fasa. Power rating transformator 3 fasa adalah 3 kali rating transformator tunggal.



Gambar 1. Hubungan delta transformator tiga fasa

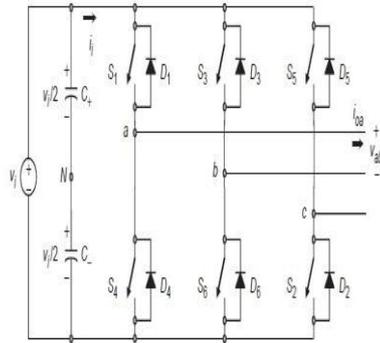
Untuk beban seimbang sebagai berikut ini

$I_A = i_{AB} - i_{CA}$	$i_A = i_{AB} \cdot \sqrt{3}$	$I_{AB} = E_{AB}/Z_{AB}$
$I_B = i_{BC} - i_{CA}$		$I_{BC} = E_{BC}/Z_{BC}$
$I_C = i_{CA} - i_{BC}$		$I_{CA} = E_{CA}/Z_{CA}$

### 2.3 Bidirectional Inverter

#### 2.3.1 Inverter Tiga Fasa

Nilai keluaran inverter yang berupa tegangan AC sangat dipengaruhi oleh besarnya tegangan masukan dan tegangan SPWM yang merupakan hasil dari modulasi antara sinyal referensi dan sinyal carrier. Sehingga nilai amplitudo dan frekuensi sinyal output akan menyesuaikan dengan amplitudo dari sinyal SPWM.



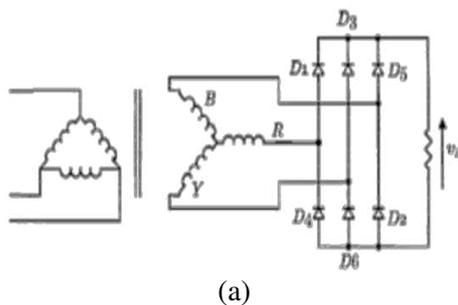
Gambar 2. Desain rangkaian inverter tiga fasa

Untuk menghasilkan tegangan luaran ( $V_o$ ) tiga fasa, terdapat delapan kondisi jika sakelar  $S_1, S_4, S_3, S_4, S_5$  dan  $S_2$  dan  $S_4$  dioperasikan sebagaimana ditunjukkan pada tabel berikut:

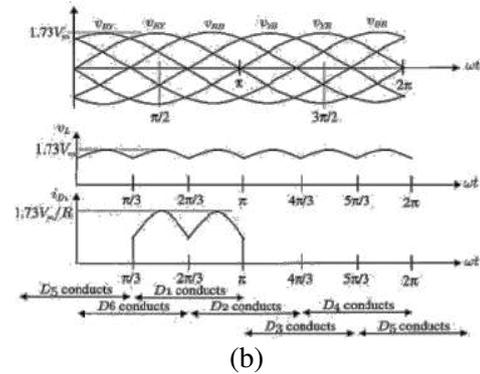
Tabel 1. Pensaklaran inverter tiga fasa

Kondisi Ke-	Kondisi	$V_{ab}$	$V_{bc}$	$V_{cb}$	Vector
1	$S_1-S_2-S_6$ On & $S_4-S_5-S_3$ Off	$V_i$	0	$V_i$	$v_1 = 1 + j0,577$
2	$S_2-S_3-S_1$ On & $S_5-S_6-S_4$ Off	0	$V_i$	$-V_i$	$v_2 = j1,155$
3	$S_3-S_4-S_2$ On & $S_6-S_1-S_5$ Off	$-V_i$	$V_i$	0	$v_3 = -1 + j0,577$
4	$S_4-S_5-S_3$ On & $S_1-S_2-S_6$ Off	$-V_i$	0	$V_i$	$v_4 = -1 - j0,577$
5	$S_5-S_6-S_4$ On & $S_2-S_3-S_1$ Off	0	$-V_i$	$V_i$	$v_5 = -j1,155$
6	$S_6-S_1-S_5$ On & $S_3-S_4-S_2$ Off	$V_i$	$-V_i$	0	$v_6 = 1 - j0,577$
7	$S_1-S_3-S_2$ On & $S_4-S_6-S_5$ Off	0	0	0	$v_7 = 0$
8	$S_4-S_6-S_2$ On & $S_1-S_3-S_5$ Off	0	0	0	$v_8 = 0$

### 2.3.2 Penyearah Gelombang Penuh Tiga Fasa Hubungan Jembatan



(a)



Gambar 3. (a) Penyearah gelombang penuh tiga fasa hubungan jembatan (b) Gelombang keluaran hasil penyearah

Gambar 2.5 (a) merupakan rangkaian penyearah gelombang penuh tiga-fasa hubungan jembatan bebab resistif ( $R$ ), sedangkan gambar 2.5 (b) merupakan bentuk gelombang hasil penyearah. Fasa R terdiri dari dioda  $D_1$  dan  $D_4$ , fasa Y terdiri dari dioda  $D_3$  dan  $D_6$ , dan fasa B terdiri dari dioda  $D_5$  dan  $D_2$ . Sudut konduksi setiap dioda sebesar  $2\pi/3$ , sehingga urutan erja dioda adalah 12,23,34,45,56,61.

Berikut nilai keluarannya:

$$V_{dc} = V_m \frac{3\sqrt{3}}{\pi} = 1.654 V_m$$

$$V_L = V_m \sqrt{\frac{3}{2} + \frac{9\sqrt{3}}{4\pi}} = 1.655 V_m$$

$$I_s = I_m \sqrt{\frac{2}{\pi} \left( \frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{4} \right)} = 0.78 I_m$$

$$I_d = I_m \sqrt{\frac{1}{\pi} \left( \frac{\pi}{6} + \frac{\sqrt{3}}{\pi} \right)} = 0.552 I_m$$

Dimana,  $I_m = 1,73 V_m/R$

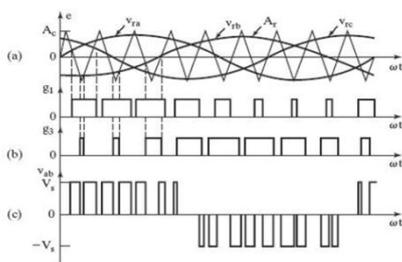
### 2.4 SPWM

SPWM (*Sinusoidal Pulse Width Modulation*) adalah salah satu jenis dari PWM (*Width Modulation*). SPWM ini memanfaatkan sinyal sinusoidal sebagai sinyal referensi untuk dibandingkan dengan sinyal carrier dalam hal ini sinyal segitiga.

Besarnya sinyal SPWM yang dihasilkan tergantung dari besarnya sinyal referensi dan *Pulse* sinyal carrier. Besar amplitudo sinyal referensi dalam suatu persamaan dapat ditulis dengan  $A_r$  dan besarnya frekuensi sinyal referensi dinyatakan dengan  $f_r$ . Sedangkan besar amplitudo sinyal carrier dapat ditulis dengan  $A_c$  dan besarnya frekuensi sinyal carrier ditulis dengan  $f_c$  (Lalu Riza Aliyan, 2014).

Inverter 3 fasa dapat dimisalkan seperti gabungan 3 buah inverter 1 fasa di mana tegangan keluaran masing-masing inverter 1 fasa digeser  $120^\circ$ . Pembangkitan sinyal *gating* inverter SPWM 3 fasa diperlihatkan pada Gambar dibawah. Ada 3 sinyal referensi sinusoidal ( $v_{ra}, v_{rb}, v_{rc}$ ) yang berbeda  $120^\circ$ . Sinyal pembawa dibandingkan dengan sinyal referensi terkait untuk menghasilkan sinyal *gating* pada fasa tersebut. Sinyal pembawa  $v_c$  dibandingkan dengan sinyal referensifasa  $v_{ra}, v_{rb}$  dan  $v_{rc}$  menghasilkan sinyal *gating* berturut-turut  $g_1, g_2$  dan  $g_3$ . Tegangan rms fasa-fasa keluaran inverter adalah fungsi dari tegangan dc bus dan indeks modulasi ( $M$ ) yang diberikan oleh persamaan:

$$V_{rms} = \frac{M}{2} \times \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} \times V_s = M \times 0.612 \times V_s$$



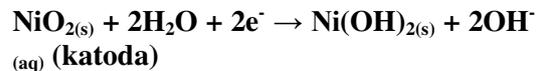
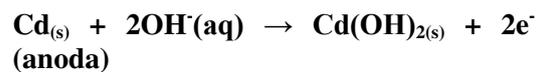
Gambar 4. Sinyal *gating* dan tegangan keluaran inverter SPWM 3 fasa

- $V_{control} > V_{tri}, V_s = V_{dc}/2$
- $V_{control} < V_{tri}, V_s = -V_{dc}/2$
- $m = V_{control} / V_{tri} = \text{Puncak } (V_s) / (V_{dc}/2)$

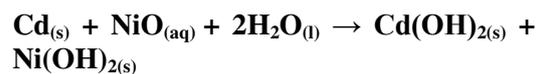
## 2.5 Baterai NiCad

Berdasarkan kemampuan baterai untuk dikosongkan (*discharged*) dan diisi ulang (*recharged*) baterai dibagi menjadi dua yaitu Baterai Primer dan Baterai Sekunder. Baterai primer adalah baterai yang tidak dapat diisi ulang, seperti baterai alkalin dan baterai merkuri. Baterai sekunder adalah baterai yang dapat diisi ulang. Kemampuan isi ulangnya berkisar antara 100-500 kali. Contoh baterai sekunder adalah baterai Timbal-Asam, baterai Ni-Cd.

Baterai nikel-kadmium merupakan baterai kering yang dapat diisi ulang. Sel ini biasanya disebut **nicad** atau **bateray nickel-cadmium**. Reaksi yang terjadi pada baterai nikel-kadmium adalah:



Reaksi keseluruhan adalah:



Pada sel nikel-kadmium, nikel hidroksida adalah bahan aktif dalam pelat positif, dan kadmium hidroksida pada pelat negatif. Selama proses pengisian atau pengosongan praktis tidak terjadi perubahan berat jenis elektrolit. Fungsinya elektrolit disini adalah sebagai konduktor untuk mengalihkan ion hidroksil (partikel bermuatan listrik) dari suatu pelat ke pelat lainnya bergantung apakah sel itu sedang diisi atau dikosongkan.

## 2.6 Filer Output

### 2.6.1 Filter Pasif LC

Inverter menggunakan filter tapis pasif pelewat-rendah, yaitu tapis yang hanya meewatkan frekuensi dibawah frekuensi *cut-off*. Sedangkan frekuensi di atas frekuensi *cut-off* akan di potong atau akan mengalami penurunan amplitudo. Nilai komponen induktor dan kapasitor dihitung dengan menggunakan persamaan pada referensi dengan menentukan frekuensi *cut-off* terlebih dahulu. Frekuensi *cut-off* merupakan hasil perkalian frekuensi dsar sistem dengan harmonik ke-n.

Untuk menentukan niai komponen filter dapat dilakukan dengan menetapkan salah satu nilai L atau C. Jika nilai C ditetapkan maka nilai induktor dapat ditentukan, begitupun jika L yang ditetapkan maka nilai C dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$C = \frac{1}{\omega_o^2 L}$$
$$L = \frac{1}{\omega_o^2 C}$$

### 2.6.2 Filter Kapasitor

Pada tegangan keluaran DC akan tampak ada ripple yang lumayan besar. Untuk mendapatkan sinyal tegangan DC yang rata (*low ripple*), maka perlu dipasang kapasitor sebagai filter (*smoothing*) sehingga ripple tegangan yang dihasilkan akan sangat kecil sekali mendekati sinya DC murni. Kapasitor yang umum digunakan sebagai filter ripple adalah jenis elektrolit Kondensator (ELKO).

Hal penting yang harus diperhatikan saat memilih filter yaitu tegangan kerja yang harus lebih tinggi dari tegangan suppy dan nilai kapasitansi yang menentukan besar ripple yang dihasilkan pada tegangan DC. Semakin kecil nilai kapasitansi maka tidak terlalu berpengaruh terhadap perubahan ripple DC yang dihasilkan, dan sebaliknya semakin besar nilai kapasitansi maka ripple DC akan semakin halus mendekati DC murni.

$$V_{ripple} = \frac{I_{load}}{FC}$$

## 3. Metodologi Penelitian

### 3.1 Alat dan Bahan

Adapun sarana yang digunakan dalam menyelesaikan penelitian ini ialah:

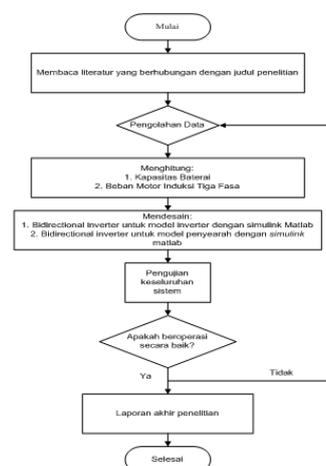
1. Laptop AcerAspire 4738  
Processor : Intel Core i3CPU 2.53 GHz  
RAM : 2 GB  
System type : 32-bit operating system
2. *Software* Matlab R2013a

### 3.2 Metoda Pengumpulan Data

Adapun parameter sebagai spesifikasi model peneltian ini adalah

1. Mosfet IRF3205, rating maksimal:  
 $V_{dss} = 55 V$   $R_{ds} = 8.0 M\Omega$ , dan  $I_d = 110 A$
2. Tegangan baterai= 48 V
3. Frekuensi fudamental= 50 Hz
4. Frekuensi PWM= 10KHz
5. Indeks Modulasi= 0,5
6. Beban motor induksi tiga fasa:  
 $P_{rated} = 2238 W$ ,  $V_{LL} = 380 V$ ,  $I_{rated} = 4.6 A$ ,  $P = 4$  Kutub,  $R_s = 0,435 \Omega$ ,  $R_r = 0,816 \Omega$ ,  $f = 50 Hz$ ,  $X_{ls} = 0,754/314 \Omega$ ,  $X_{m} = 26.13/314 \Omega$

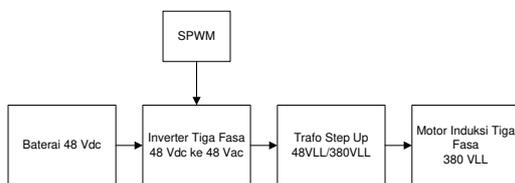
### 3.3. Flowchart Penelitian



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

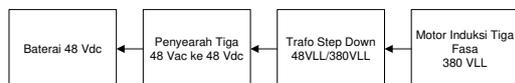
### 3.4 Blok Diagram Penelitian

Pada penelitian ini terdapat dua buah blok diagram yaitu mode inverter dan mode penyearah. Pada mode inverter dalam desain ini perlu diketahui data dari beban inverter dan sumber inverter. Beban inverter disini adalah motor induksi tiga fasa 380 VLL dan baterai 48 Volt. Sesuai dengan data motor tersebut, maka diperlukan Trafo step up pada keluaran inverter. Adapun blok diagram penelitian akan ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 6. Blok Diagram Penelitian Inverter

Selanjutnya untuk desain mode penyearah perlu diketahui data beban dan sumber penyearah. Sumber tegangan penyearah adalah tegangan tiga fasa 380 VLL yang berasal dari motor dan baterai 48 Volt. Maka diperlukan Trafo step down untuk menurunkan tegangan untuk pengisian baterai 48 Volt. Setelah diketahui data – data yang diperlukan maka dibuat blok diagram penelitian. Adapun blok diagram penelitian akan ditunjukkan pada Gambar 3.3.



Gambar 7. Blok Diagram Penelitian Rectifier

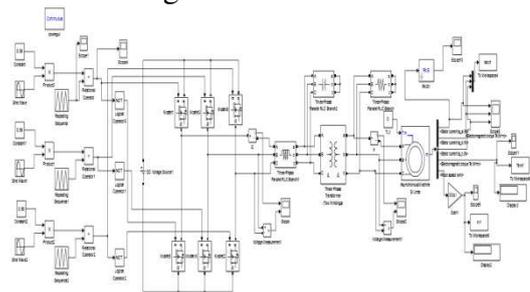
### 3.2 Perancangan Model Simulasi

#### 3.1 Desain Mode Inverter Tiga Fasa

Model rangkaian dari inverter PWM tiga fasa ditunjukkan pada gambar 3.4. Inverter tiga fasa ini mendapatkan inputan dari sumber DC sebesar 48 volt dan

memiliki beban berupa motor induksi sebesar 380 volt.

Pada mode ini, tegangan masukan DC akan diubah menjadi tegangan keluaran AC. Pada inverter menggunakan pensaklaran Mosfet. Pensaklaran pada inverter, saklar S1, S3 dan S5 akan hidup berlawanan dengan saklar S4, S6 dan S2. Saklar S1, S3 dan S5 akan lebih dulu bekerja daripada saklar S4, S6 dan S2. Pada siklus berikutnya, saklar Saklar S1, S3 dan S5 akan mati dan saklar S4, S6 dan S2 akan bekerja. Modulasi pensaklaran menggunakan prinsip SPWM dengan *duty ratio* sebesar 0,5. Kemudian tegangan keluaran inverter yaitu tegangan AC dinaikkan dengan trafo step Up menjadi 380 V untuk memutar motor induksi tiga fasa.



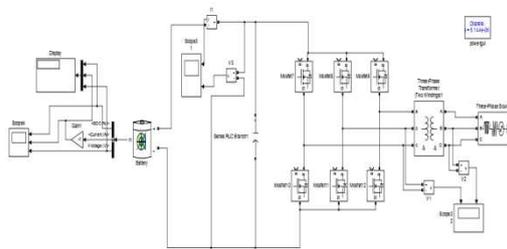
Gambar 8. Rangkaian skematis design *bidirectional* inverter mode inverter

Tabel 2. Parameter Bidirectional Inverter mode inverter

Tegangan Masukan Baterai	48 Vdc	Filter L-C Inverter	1 mH 0.1 $\mu$ F
Tegangan Mesin Induksi	380 Vac	R Branch	1 M $\Omega$
<i>Duty Ratio</i>	0.5	Frekuensi Pensaklaran inverter	50 Hz
Trafo Step Up	$\alpha = 0,11843$	Tegangan Keluaran Inverter	47.78 Vac
Arus inverter	46.2 Amp	Arus Mesin Induksi	4.44 A

### 3.2 Desain Mode Rectifier Tiga Fasa

Model rangkaian dari penyearah ditunjukkan pada gambar 3.5, tegangan masukan dari sumber AC 3 fasa diubah menjadi tegangan keluaran DC. Selama mode penyearah ini, tegangan AC 3 fasa yang bertegangan 380Vac diturunkan dengan trafo step down menjadi tegangan 48 Vac kemudian disearahkan pada penyearah. Nilai tegangan keluaran penyearah adalah sebesar 53.56 Vdc. Setelah tegangan AC dikonversikan menjadi tegangan DC oleh penyearah.



Gambar 9. Rangkaian skematis *bidirectional* inverter mode Penyearah

Dengan menggunakan penyearah jembatan gelombang penuh, tegangan masukan AC dikonversi menjadi tegangan keluaran DC. Pada penyearah, menggunakan 6 buah dioda yang bekerja secara bergantian. Selama mode penyearah ini, penyearah D1, D3 dan D5 akan hidup bergantian dengan saklar D4, D6 dan D2 jika diberi masukan dari sumber tegangan AC. Hanya satu diode pada bagian bawah jembatan yang dapat bekerja pada satu waktu. D1 dan D4, D3 dan D6 juga D5 dan D2 tidak dapat dilewati arus pada saat yang sama.

Berikut ini perhitungan tegangan keluaran pada penyearah, yaitu:

$$\begin{aligned} V_{dc} &= 1,654 \times V_m \\ &= 1,654 \times 32.39 \\ &= 53.56 \text{ Volt} \end{aligned}$$

## 4. Analisis Hasil Dan Pembahasan

### 4.1 Umum

*Bidirectional inverter* adalah piranti elektronika daya yang dapat bekerja dua arah mengubah tegangan ac ke dc dan sebaliknya. Terdapat dua mode pada converter dua arah ini, yaitu mode inverter dan mode penyearah. Mode inverter adalah mengubah tegangan masukan DC menjadi tegangan keluaran AC. Tegangan masukan DC dari baterai dikonversikan menjadi tegangan AC yang diproses pada rangkaian inverter. Rangkaian inverter menggunakan pensaklaran MOSFET. Pensaklaran MOSFET ini diatur oleh SPWM, yaitu dengan cara membandingkan tegangan segitiga sebagai referensi dengan tegangan keluaran. Sedangkan mode rectifier digunakan untuk menyearahkan tegangan AC dari sumber tegangan tiga fasa hasil putaran dari motor induksi tiga fasa. Mode penyearah berfungsi untuk mengkonversi tegangan AC dari sumber AC tiga fasa menjadi tegangan DC yang bertujuan untuk mengisi baterai DC sebesar 48 Volt yang merupakan sumber penggerak mesin. Tegangan keluaran DC ini diproses pada penyearah (dioda). Di mode inverter dan penyearah terdapat transformator step up dan step down. Pada mode inverter ada trafo step up yang menaikkan tegangan sumber baterai setelah dirubah menjadi 48Vac menjadi 380Vac. Sedangkan pada mode penyearah terdapat trafo step up yang menurunkan tegangan  $V_p$  537 Vac menjadi 48Vac untuk disearahkan.

Dalam skripsi ini, Software MATLAB digunakan untuk merancang mode inverter tiga fasa dengan metode SPWM dan juga mode penyearah. Bagian menjelaskan hasil *running* dari simulasi *bidirectional inverter*, baik mode inverter maupun penyearah. Penulis akan menampilkan hasil *running* simulasi rangkaian dan menampilkan gelombang keluaran dari setiap bagian pada *bidirectional inverter* kemudian juga

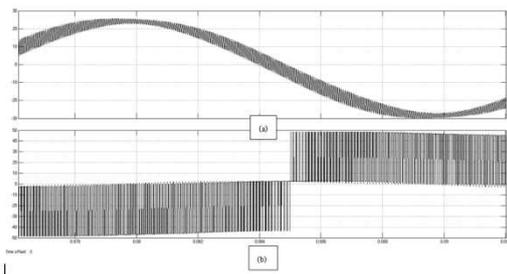
akan dilihat karakteristik modulasi lebar pulsa (SPWM) dari *running* tersebut. Selanjutnya dilakukan *running* simulasi pada saat beban yang digunakan adalah baterai dengan mengamati karakteristik tegangan, dan arus pengisian muatan baterai dengan kondisi SOC adalah 55%.

#### 4.2 Simulasi dan Analisis Mode Inverter dengan filter pasif L-C

Pada simulasi ini diadakan sebuah filter pasif L-C untuk mengurangi harmonisa yang terjadi pada pada tegangan keluaran inverter pada trafo step up. Besar  $L = 1 \times 10^{-3}$  H dan  $C = 1 \times 10^{-7}$  F.

Berikut nilai keluaran arus dan tegangan:

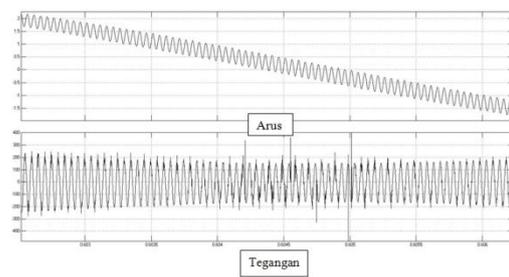
1. Arus dan tegangan output inverter fasa ke fasa (Vab)



Gambar 10. (a) Arus dan (b) Tegangan Output Inverter Fasa ke Fasa

Rata-rata tegangan keluarannya sebesar 48 Volt, dan arus rata-rata adalah 30 A.

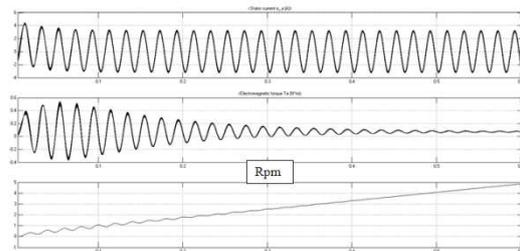
2. Arus dan tegangan output pada trafo step up fasa ke fasa



Gambar 11. Arus tegangan keluaran trafo step up

Besar arus keluaran trafo step up adalah 5A, dan tegangannya adalah rata-rata 220V.

3. Arus, torka dan kecepatan pada motor



Gambar 12.(a) Arus, (b) Torka, dan (c) RPM pada motor induksi tiga fasa

Pada gambar 4.4 merupakan hasil simulasi dari kecepatan rotor motor induksi tiga fasa saat frekuensi 50 Hz. Dimana dapat dilihat pada saat  $t=0,9$  nilai kecepatan ( $n_r$ ) adalah 1500 rpm.

Dengan mengabaikan arus starting motor, pada gambar 4.3 Nilai arus puncak motor sebesar 3 A pada saat frekuensi 50 Hz. Untuk menghitung daya motor pada saat 5 A dengan faktor daya 0,8 adalah sebagai berikut:

$$P = \sqrt{3} \times I \times V_{LL} \times \cos \phi$$

$$P = \sqrt{3} \times 5 \times 380 \times 0,8$$

$$P = 2632,71 \text{ watt}$$

### 4.3 Simulasi dan Analisis Mode Penyearah dengan Fiter Kapasitor

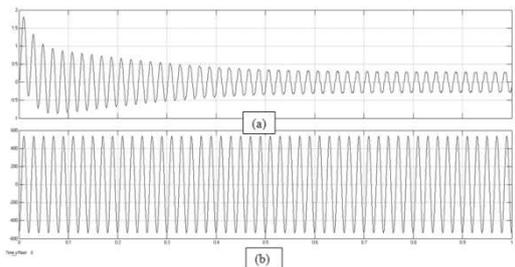
Analisa kedua yang dilakukan yaitu dengan menggunakan simulasi mode penyearah seperti pada gambar 4.6 Untuk menganalisa mode penyearah ini dilakukan simulasi mode penyearah pada Simulink MATLAB R2013a.

Pada mode penyearah ini masih memiliki nilai ripple (riak gelombang) yang cukup besar. Jadi untuk memperhalus nilai ripple tersebut maka digunakanlah filter kapasitor yang dipasang secara paralel pada beban. Besar kapasitornya adalah

$$C = \frac{Idc}{fUr} = \frac{2.5mA}{50 \times 45} = 1110 \times 10^{-3} F$$

Berikut arus dan tegangan yang didapatkan.

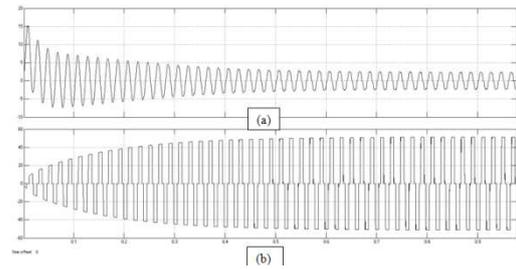
1. Arus dan tegangan masukan pada trafo step down



Gambar 13. (a) Arus dan (b) Tegangan pada masukan trafo step down

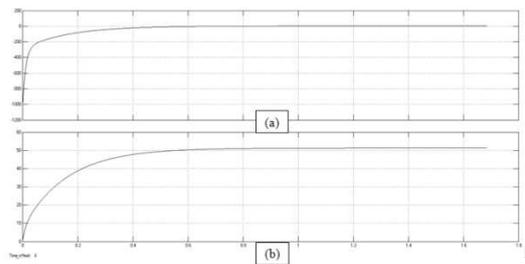
Nilai tegangan adalah  $380 \times \sqrt{2} = 537,4$  Volt, dan arus rata-rata sebesar 0,4 A.

2. Arus dan tegangan keluaran trafo step down



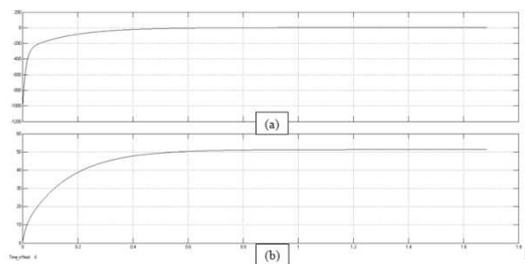
Gambar 14. (a) Arus dan (b) Tegangan Keluaran dari trafo step down Nilai rata-rata tegangan adalah 45 Volt, dan arus rata-rata adalah 4 Ampere.

3. Arus dan tegangan keluaran penyearah



Gambar 15. (a) Arus dan (b) Tegangan keluaran penyearah

4. Grafik SOC, arus, dan tegangan pada baterai dengan filter kapasitor



Gambar 16. (a) SOC, (b) Arus, dan (c) Tegangan pada baterai

Nilai SOC adalah 55%, arus rata-rata sebesar 2.25 A, dan Tegangan adalah 51.31 Volt. Riak pada arus dan tegangan sudah

makin mengecil. Pada arus besarnya berkisar antar 2.54- 2.57 A. Sedangkan pada tegangan besarnya berkisar antara 51.30- 51.31 Volt.

Pada gambar 16 diatas menunjukkan hasil keluaran simulasi penyearah dalam waktu 3 detik. Pada gambar tersebut dapat kita lihat nilai keluaran state of charge (SOC), nilai arus dan juga nilai tegangan pada baterai. Nilai state of charge (SOC) menggambarkan energi yang tersedia pada baterai yaitu pada kondisi 55% sedangkan dapat dilihat dari hasil grafik keluaran pada batera imencapai 54,94% dan terus naik ke 55%, ini menunjukkan bahwa terjadi pengisian muatan pada baterai. Kemudian dapat dilihat juga pada grafik arus keluaran pada gambar 16 sebesar 2.55 Ampere, dan pada grafik tegangan keluaran menunjukkan angka sebesar 51,03 Volt.

## 5. Kesimpulan Dan Saran

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil *running program* dan analisa hasil simulasi rangkaian *bidirectional inverter* baik mode inverter maupun mode penyearah diambil beberapa kesimpulan, yaitu :

1. Pada simulasi mode inverter dengan modulasi SPWM mampu membuat motor dapat berputar menuju kecepatan sinkron dengan sumber baterai 48 volt DC. Dengan sebelumnya tegangan baterai di konversi dan dinaikkan menjadi 380 VL AC dengan trafo step up..
2. Tegangan keluaran pada trafo step up setelah ditambahkan filter L-C adalah berkisar VL = 220 Volt AC, dimana tegangan ini masih kurang dari tegangan nominal motor yaitu VL = 380 volt AC.
3. Pada simulasi penyearah, generator dengan tegangan puncak 537 Volt AC dapat mengisi baterai dengan

arus pengisian 2,3 Ampere dan tegangan 48 Volt DC setelah diturunkan tegangannya oleh trafo step down menjadi 45 Volt AC.

4. Tegangan pengisian muatan baterai semakin meningkat seiring dengan kenaikan *state of charge* (SOC) dan arus pengisian muatan baterai turun pada saat kondisi SOC baterai hampir penuh.

### B. Saran

Adapun saran yang dapat penulis berikan untuk pengembangan penelitian ini adalah diperlukan pembahasan lebih lanjut pada filter *bidirectional inverter* yang dapat mengurangi harmonisa sehingga arus dan tegangan lebih bagus lagi serta diperlukan perancangan automasi perpindahan *bidirectional inverter* dari mode inverter menjadi penyearah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Nazmul Islam Raju, -. *Sinusoidal PWM Signal Generation Technique for Three Phase Voltage Source Inverter With Analog Circuit & Simulation of PWM Inverter for Standalone Load & Micro-grid System*. Jurnal, Department of EEE, American International University-Bangladesh.
- Hao Wu, 2015. *Control and Modulation of Bidirectional Single-Phase AC-DC Three-Phase-Leg SPWM Converters with Active Power Decoupling and Minimal Storage Capacitance*, IEEE, China.
- Fredrik Furst, 2015. *Design of 48 V three-phase inverter*. Department of Energy and Environment, Chalmers University Of

Technology, Gothenburg,  
Sweden.

Abi Yusuf Aulia, 2016. Desain dan Analisa Bidirectional Inverter sebagai Penggerak Mesin Induksi Satu Fasa dengan Sumber Baterai DC 36 Volt. Jurnal, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Riau, Pekanbaru.

Ronaldi Hutabalian, 2016. Desain Dan Analisa Inverter Tiga Fasa Dengan Metode Svpwm Sebagai Penggerak Motor Induksi Tiga Fasa Pada Aplikasi Sepeda Listrik. Jurnal, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Riau, Pekanbaru.

Mokhammad asrul afrizal, 2014. Perencanaan dan Pembuatan Modul Inverter 3 Phase sebagai Suplai Motor Induksi Pada Pengembangan Modul Praktikum Pengemudi Listrik. Jurnal, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya ITS, Surabaya.

Lalu Riza Aliyan, 2014. Desain Inverter Tiga Fasa dengan Minimum *Total Harmonic Distortion* Menggunakan Metode SPWM, *Journal EECCIS*, Vol.8, No. 1, Malang.

Hart, D.W. (1997). *Introduction to Power Electronics*. Indiana: Prentice-Hall International, Inc.

Singh, MD. (1998). *Power Electronics*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited.

Rashid, M.H., *et.al* (2007). *Power Electronics Handbook*. California: Elsevier, Inc.