

Perancangan *Inverter Dual Conversion Push Pull-Full Bridge* pada Aplikasi Fotovoltaik

Cahyo Ariwibowo¹, Agung Warsito², Karnoto²

1. Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang
2. Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang

Abstract

Currently, electric energy is essential for human needs, while for remote areas not all of them powered from PLN. The solution is to use existing energy and transforms it into electrical energy. One of the energy that can be considered is solar energy. Photovoltaic is a device that directly converts solar energy into electricity. To be more efficient, electricity from photovoltaic stored in batteries that can be used at any time during overcast conditions or at night when sunlight does not exist. Most electrical appliances use a standard 220 Volt AC voltage and frequency of 50 Hz, while the electricity generated by photovoltaic is a DC voltage. To get electricity as specified electrical equipment, inverter is used. Inverter is a power electronic device that converts DC voltage into AC voltage. Inverter that was designed can be burdened with incandescent lamp between 100-300 watt with an average efficiency of 63%. Photovoltaic water pump system can supplying 1440 liters of water for every 1 cycle of charging a 65 Ah battery for 52 minutes 18 seconds with an average efficiency of 61%.

Keyword : solar energy, photovoltaic, battery, inverter, water pump

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Untuk memperoleh sumber energi listrik di daerah terpencil di Indonesia sangat sulit. Saat ini energi listrik sangat bermanfaat dan memudahkan manusia untuk beraktifitas sehari-hari apalagi di daerah terpencil seperti misalnya untuk penerangan di malam hari atau memenuhi kebutuhan air dan irigasi dengan pompa air. Solusinya adalah memakai energi yang ada dan merubahnya menjadi energi listrik. Penggunaan bahan bakar fosil selain biayanya mahal, juga kurang ramah lingkungan. Salah satu energi yang dapat dipertimbangkan adalah energi matahari. Selain cocok dengan iklim tropis di Indonesia dimana matahari bersinar sepanjang tahun, energi ini merupakan energi terbarukan, bersih dan ramah lingkungan. Indonesia memiliki rata-rata intensitas radiasi matahari sebesar 1000 watt/m² sebab Indonesia terletak di daerah khatulistiwa.

Fotovoltaik adalah alat yang secara langsung merubah energi matahari menjadi energi listrik, agar lebih efisien energi listrik dari fotovoltaik disimpan di dalam baterai sehingga dapat digunakan sewaktu-waktu pada saat kondisi mendung atau malam hari dimana sinar matahari tidak ada. Peralatan listrik seperti penerangan dan pompa air di Indonesia kebanyakan memakai standar tegangan AC 220 Volt dan frekuensi 50 Hz, sedangkan listrik yang dihasilkan oleh fotovoltaik adalah tegangan DC. Untuk mendapatkan listrik sesuai spesifikasi peralatan listrik yang digunakan maka dipakai inverter. Inverter adalah peralatan elektronika daya yang merubah tegangan DC menjadi tegangan AC.

Pada penelitian ini dirancang suatu inverter dengan spesifikasi tegangan input DC 12 Volt, tegangan output AC 220, frekuensi 50 Hz. Inverter ini menggunakan konfigurasi *push pull* dan *full bridge*, dengan trafo step up inti ferit yang diharapkan memiliki efisiensi lebih tinggi dari inverter konfigurasi *push pull*, dengan trafo step up inti besi.

1.1 Tujuan

Adapun tujuan Penelitian ini antara lain :

1. Merancang inverter *dual conversion* konfigurasi *push pull* dan *full bridge* dengan trafo step up inti ferit, untuk menghasilkan tegangan keluaran AC 220 Volt frekuensi 50 Hz.
2. Mengaplikasikan inverter pada sistem pompa air fotovoltaik dan beban lampu pijar untuk penerangan.
3. Meningkatkan dan membandingkan efisiensi dengan inverter konfigurasi *push pull*, dengan trafo step up inti besi.

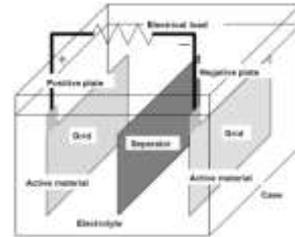
1.2 Batasan Masalah

Pada Penelitian ini, pembahasan dibatasi pada batasan-batasan berikut ini :

1. Modul fotovoltaik yang digunakan jenis polikristal dengan tegangan 12 V dan daya output 120 Watt.
2. Posisi modul fotovoltaik terhadap matahari tetap, dilakukan di kampus teknik elektro Undip serta tidak mengukur intensitas harian radiasi matahari.
3. Tidak membahas pengaruh suhu permukaan fotovoltaik terhadap daya yang dihasilkan modul.
4. Baterai yang digunakan adalah jenis asam timbal dengan tegangan nominal 12 V 65 Ah.
5. Tidak mendetail membahas struktur kimia baterai.
6. Pengaturan pengisian dan pengosongan baterai dilakukan secara *on/off*.
7. Inverter satu fasa yang digunakan adalah inverter konfigurasi *push pull* dan *full bridge*.
8. Inverter yang digunakan memiliki *duty cycle* yang tetap serta frekuensi yang tetap pada sisi beban, dan dapat diatur pada sisi sumber.
9. Tidak membahas harmonisa tegangan dan arus yang dihasilkan dari kontrol tegangan AC.
10. Beban induktif yang digunakan adalah motor induksi 1 fasa berupa pompa air 125 Watt, dengan ketinggian 2 meter dari permukaan tanah.

- 11. Beban penerangan yang digunakan adalah lampu pijar dengan daya 100-300 Watt.
- 12. Tidak membahas mekanika fluida pompa air secara mendetail.

lead acid secara umum ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Gambar 4 Komposisi sel baterai^[2]

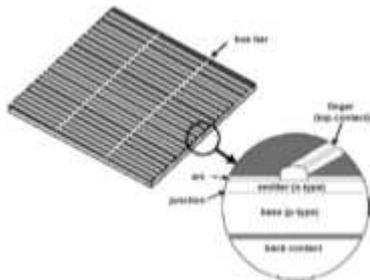
II. DASAR TEORI

2.1 Fotovoltaik^[1]

Efek fotovoltaik adalah proses fisika dasar dimana cahaya matahari dirubah secara langsung menjadi listrik.

2.1.1 Sel Fotovoltaik^[15]

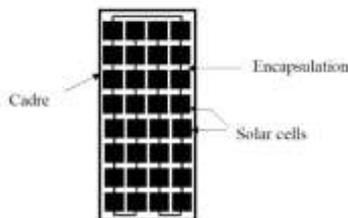
Silikon adalah bahan semikonduktor yang paling banyak digunakan untuk membuat sel fotovoltaik. Foton dengan energi yang melebihi sela pita dapat dirubah menjadi listrik dengan sel fotovoltaik, dan energi yang berlebih ini hilang sebagai panas untuk merepresentasikan kerugian dasar sel fotovoltaik.



Gambar 1 Struktur sel fotovoltaik *silicon crystalline*^[15]

2.1.2 Modul fotovoltaik

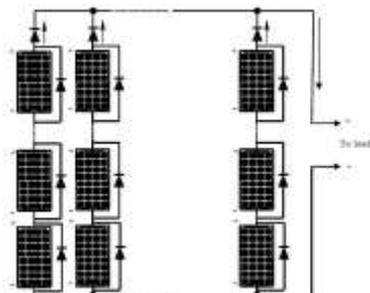
Modul fotovoltaik adalah hubungan sel-sel fotovoltaik baik dalam seri maupun paralel untuk mencapai spesifikasi daya keluaran yang dibutuhkan.



Gambar 2 Konstruksi modul fotovoltaik^[15]

2.1.3 Array Fotovoltaik

Array fotovoltaik didefinisikan sebagai rakitan terintegrasi antara mekanik dan kelistrikan modul fotovoltaik dengan struktur pendukung, sehingga membentuk unit suplai daya arus searah.



Gambar 3 Proteksi array fotovoltaik^[15]

2.2 Baterai^[2]

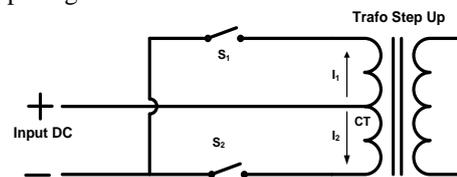
Baterai adalah alat untuk menyimpan energi listrik, prinsip kerjanya mengubah energi listrik menjadi energi kimia pada saat menyimpan, dan mengubah energi kimia menjadi energi listrik pada saat digunakan. Komposisi baterai

2.3 Inverter^[8]

Inverter adalah peralatan elektronika daya yang merubah tegangan DC menjadi tegangan AC.

2.3.1 Inverter Dorong Tarik (*Push Pull*)

Secara sederhana prinsip kerja inverter *push pull* dapat dijelaskan pada gambar 5.

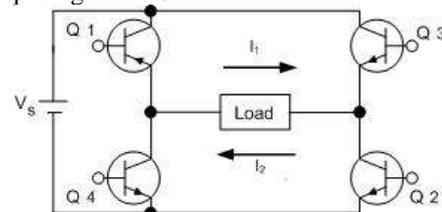


Gambar 5 Prinsip kerja inverter *push pull*

Dengan menutup S1 maka arus yang mengalir ke trafo adalah I_1 , sedangkan pada saat menutupnya S2 (S_1 buka) maka yang mengalir adalah I_2 . Selanjutnya dengan mengulang-ulang proses diatas maka akan dihasilkan tegangan bolak-balik (AC) yang kemudian tegangannya dinaikkan dengan transformator

2.3.2 Inverter Jembatan Penuh (*Full Bridge*)

Secara sederhana prinsip kerja inverter *full bridge* dapat dijelaskan pada gambar 6.



Gambar 6 Prinsip kerja inverter *full bridge*

Apabila saklar Q_1 dan Q_2 diaktifkan secara bersamaan, maka tegangan masukan V_s akan melintasi beban. Apabila transistor Q_3 dan Q_4 diaktifkan secara bersamaan tegangan yang melintasi beban akan terbalik yaitu $-V_s$.

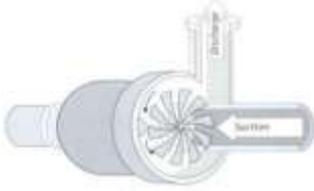
2.4 Trafo Inti Ferit^[14]

Trafo adalah peralatan yang berfungsi mengkonversi (merubah) arus atau tegangan bolak-balik dari nilai tertentu menjadi nilai yang lain. Prinsip kerja trafo berdasar pada hukum Faraday.^[10]

Bahan magnetik yang digunakan sebagai inti trafo terus berubah seiring dengan peningkatan frekuensi kerja. Pada frekuensi jala-jala 50/60 Hz, besi, besi bersilikon rendah, dan baja silikon adalah bahan utama inti trafo. Dengan peningkatan frekuensi kerja, sudah banyak bahan magnetik diperkenalkan untuk aplikasi trafo daya frekuensi tinggi. Ferit adalah bahan keramik, berwarna abu-abu gelap atau hitam, sangat keras dan rapuh.

2.5 Pompa air sentrifugal^[11]

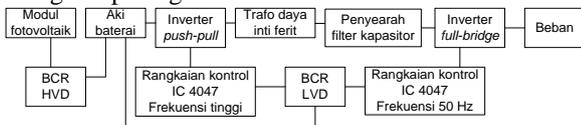
Salah satu contoh motor starting kapasitor adalah pompa air listrik. Pompa ini termasuk kategori pompa *sentrifugal* (turbo) yaitu mengandalkan daya dari luar yang memberikan kepada poros pompa untuk memutar baling-baling. Pada pompa listrik terjadi perubahan energi yaitu energi listrik menjadi energi kinetik (gerak). Secara skematis cara kerja pompa air listrik ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7 Skema cara kerja motor pompa air^[11]

III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Adapun gambaran umum tentang alat dapat dilihat pada blok diagram pada gambar 8.



Gambar 8 Diagram blok perancangan

3.1 Modul Fotovoltaik

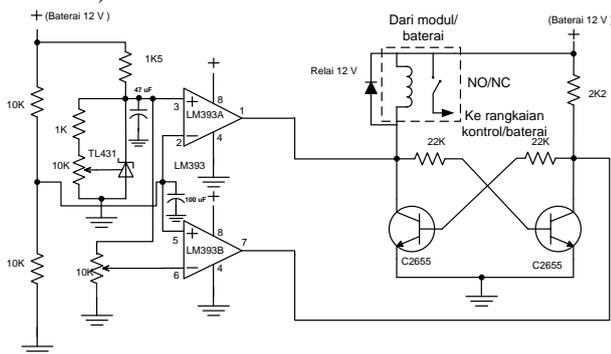
Modul fotovoltaik yang digunakan pada penelitian ini berbahan silikon, daya maksimal 120 W.

3.2 Baterai

Baterai yang digunakan pada penelitian ini adalah merk GS jenis asam timbal yang biasa digunakan untuk mobil, dengan kapasitas 65 Ah, tegangan nominal baterai 12 volt.

3.3 Battery Charger Regulator

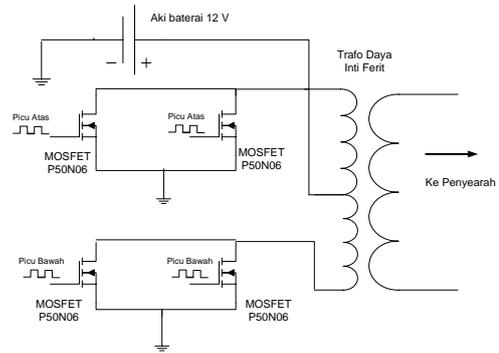
Battery charger regulator terdiri atas rangkaian HVD (*High Voltage Disconnect*) dan LVD (*Low Voltage Disconnect*).



Gambar 9 Rangkaian HVD dan LVD

3.4 Inverter Push Pull

Rangkaian inverter *push pull* berfungsi mengubah tegangan 12 Vdc dari aki menjadi tegangan 220 Vac frekuensi tinggi. Inverter ini menggunakan MOSFET tipe P50N06. MOSFET ini memiliki tegangan breakdown (V_{DS}) 60V, arus maksimal (I_D) 50 A. Gambar rangkaian inverter *push pull* ditunjukkan pada gambar 10.

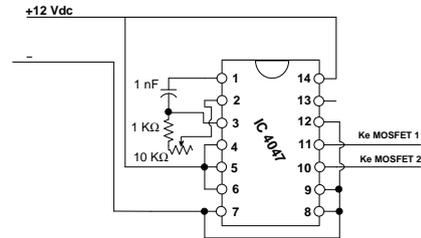


Gambar 10 Rangkaian inverter *push pull*

Terlihat digunakan empat MOSFET, dimana tiap dua MOSFET diparalel untuk mewakili satu bagian inverter *push pull*. MOSFET yang diparalel ini bertujuan untuk membagi arus pada tiap bagian inverter, agar arus yang dilewati bisa lebih besar dan daya yang dihasilkan juga lebih besar pula.

3.4.1 Rangkaian kontrol IC 4047 frekuensi tinggi

Rangkaian osilator pulsa untuk inverter ini dapat dilihat pada gambar 11.

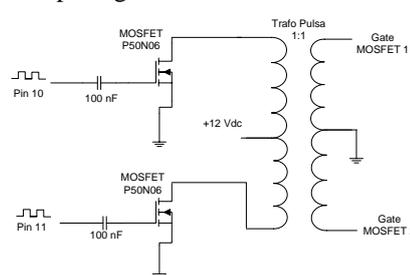


Gambar 11 Rangkaian osilator frekuensi tinggi

Rangkaian osilator pulsa ini menggunakan IC 4047 untuk menghasilkan gelombang kotak untuk pemicuan MOSFET P50N06 pada rangkaian driver. Gelombang kotak yang dihasilkan memiliki frekuensi 25-180 kHz dengan *duty cycle* 50%.

3.4.2 Rangkaian driver dan trafo pulsa inti ferit

Rangkaian driver dan trafo pulsa inti ferit untuk inverter ini dapat dilihat pada gambar 12.



Gambar 12 Rangkaian driver dan trafo pulsa inti ferit

Rangkaian driver terdiri atas 2 buah MOSFET dan sebuah trafo pulsa. Trafo pulsa ini merupakan trafo berinti ferit dengan perbandingan 1: 1, keluaran dari trafo pulsa berupa tegangan gelombang kotak 12 Volt, frekuensi tinggi, yang digunakan untuk memicu rangkaian daya inverter *push pull*.

3.5 Trafo Daya Inti Ferit

Trafo daya inti ferit adalah trafo yang digunakan untuk menaikkan tegangan. Pada kumparan primer digunakan lilitan kawat email dengan diameter 2.5 mm. Pada kumparan

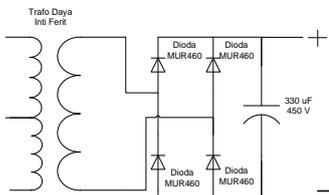
sekunder digunakan kawat dengan diameter 0.8 mm. Realisasi trafo daya inti ferit dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13 Trafo daya inti ferit

3.6 Penyearah

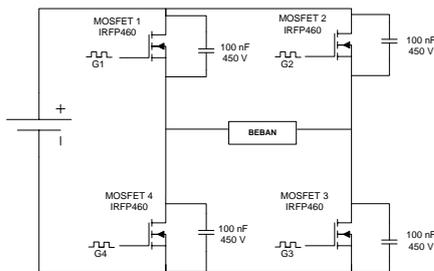
Penyearah pada penelitian ini menggunakan konfigurasi gelombang penuh. Dioda yang digunakan adalah MUR460, tegangan balik maksimal 600 V, arus maksimal 4 A. Filter kapasitor yang digunakan adalah jenis elektrolit dengan kapasitas 330 uF dan tegangan 450 V. Rangkaian penyearah ditunjukkan pada gambar 14.



Gambar 14 Rangkaian penyearah gelombang penuh

3.7 Inverter Full Bridge

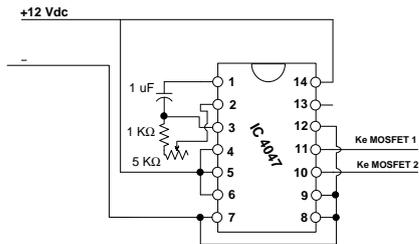
Rangkaian inverter *full bridge* berfungsi mengubah tegangan 220 Vdc dari keluaran penyearah menjadi tegangan 220 Vac frekuensi 50 Hz. Inverter ini menggunakan MOSFET tipe IRFP460. MOSFET ini memiliki tegangan breakdown (V_{DS}) 500 V, arus maksimal (I_d) 20 A. Gambar rangkaian inverter *full bridge* ditunjukkan pada gambar 15.



Gambar 15 Rangkaian inverter Full Bridge

3.7.1 Rangkaian kontrol IC 4047 frekuensi 50 Hz

Rangkaian osilator pulsa untuk inverter ini dapat dilihat pada gambar 16.



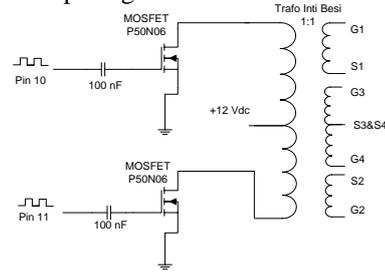
Gambar 16 Rangkaian Osilator frekuensi 50 Hz

Rangkaian osilator pulsa ini menggunakan IC 4047 untuk menghasilkan gelombang kotak untuk pemicuan MOSFET

P50N06 pada rangkaian driver. Gelombang kotak yang dihasilkan memiliki frekuensi 50 Hz dengan *duty cycle* 50%.

3.7.2 Rangkaian driver dan trafo pulsa inti besi

Rangkaian driver dan trafo pulsa inti besi untuk inverter ini dapat dilihat pada gambar 17.



Gambar 17 Rangkaian driver dan trafo pulsa inti besi

Rangkaian driver terdiri atas 2 buah MOSFET P50N06 dan sebuah trafo pulsa. Trafo pulsa ini merupakan trafo berinti besi dengan perbandingan 1: 1, keluaran dari trafo pulsa berupa tegangan gelombang kotak 12 Volt, frekuensi 50 Hz. Pada gambar terlihat trafo pulsa merupakan trafo dengan konfigurasi *push pull* pada sisi primernya, sekunder trafo terdiri dari 7 keluaran, yaitu G1, G2, G3, G4, S1, S2, S3, dan S4 yang nantinya akan dipakai untuk memicu rangkaian daya inverter *full bridge*.

IV. Pengujian Dan Analisa

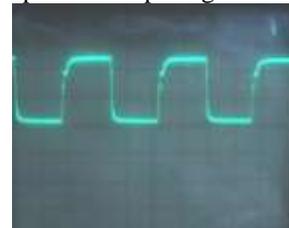
Pengujian dan analisa yang dilakukan dalam Penelitian ini adalah pengujian terhadap *hardware* dan pada sistem secara keseluruhan.

4.1 Pengujian Inverter

Pengujian ini meliputi pengujian sinyal pemicuan keluaran IC 4047, trafo pulsa inti ferit dan inti besi, gelombang keluaran trafo daya inti ferit, penyearah, dan beban.

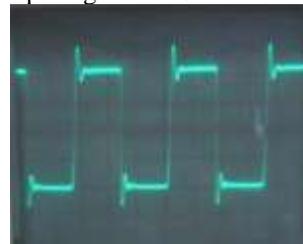
4.1.1 Sinyal pemicuan IC 4047 dan trafo driver

Bentuk gelombang sinyal pemicuan dari IC 4047 frekuensi tinggi dapat dilihat pada gambar 18.



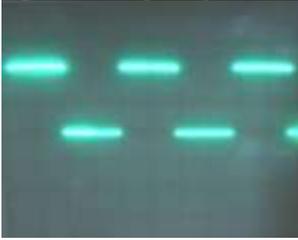
Gambar 18 Sinyal pemicuan IC 4047 52.3 kHz (skala 1:1, V/div=5V, T/div=5us)

Keluaran IC 4047 frekuensi tinggi dilewatkan trafo pulsa inti ferit untuk memicu rangkaian daya inverter *push pull*. Bentuk gelombang sinyal pemicuan dari trafo pulsa inti ferit dapat dilihat pada gambar 19.



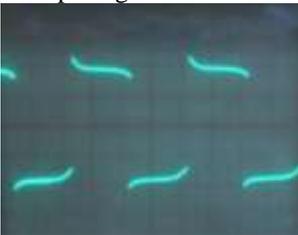
Gambar 19 Sinyal pemicuan trafo pulsa inti ferit 52.3 kHz (skala 1:1, V/div=5V, T/div=5us)

Bentuk gelombang sinyal pemucuan dari IC 4047 frekuensi 50 Hz dapat dilihat pada gambar 20.



Gambar 20 Sinyal pemucuan IC 4047 frekuensi 50 Hz (skala 1:1, V/div=5V, T/div=5ms)

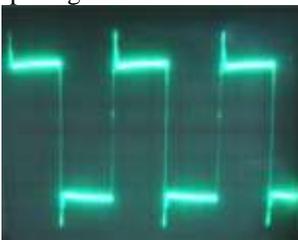
Keluaran IC 4047 frekuensi 50 Hz dilewatkan trafo pulsa inti besi untuk memicu rangkaian daya inverter *full bridge*. Bentuk gelombang sinyal pemucuan dari trafo pulsa inti besi dapat dilihat pada gambar 21.



Gambar 21 Sinyal pemucuan trafo pulsa inti besi (skala 1:1, V/div=5V, T/div=5ms)

4.1.2 Pengujian trafo daya inti ferit

Bentuk sinyal gelombang keluaran dari trafo daya inti ferit dapat dilihat pada gambar 22.



Gambar 22 Gelombang keluaran trafo daya inti ferit (skala 1:100, V/div=1V dan T/div=5us)

Trafo daya inti ferit menaikkan tegangan baterai dari 12 Vdc menjadi 220 Vac, dengan frekuensi 52.3 kHz.

4.1.3 Pengujian penyearah full bridge

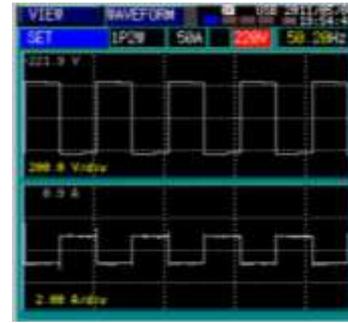
Bentuk gelombang keluaran penyearah ditunjukkan pada gambar 23.



Gambar 23 Gelombang keluaran penyearah full bridge (skala 1:100, V/div=1V dan T/div=5ms)

4.1.4 Pengujian output inverter

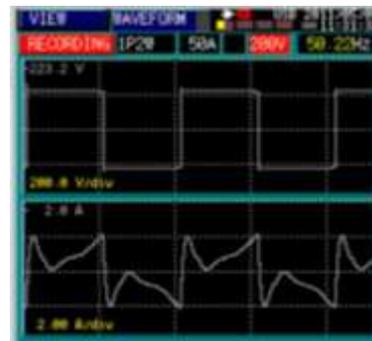
Pengujian bentuk gelombang tegangan dan arus output inverter beban resistif dengan menggunakan lampu pijar ditunjukkan pada gambar 24.



Gambar 24 Gelombang keluaran tegangan (atas) dan arus (bawah) beban lampu pijar

Pada gambar 24 terlihat dua bentuk gelombang tegangan dan arus keluaran inverter beban lampu pijar yaitu kotak, dengan frekuensi 50.20 Hz dan *duty cycle* 50%.

Hal ini sesuai dengan teori bahwa pada beban resistif arus dan tegangan akan linier sehingga tegangan dan arusnya sefasa dan memiliki bentuk yang sama. Pengujian bentuk gelombang tegangan dan arus output inverter beban induktif dengan menggunakan motor pompa air ditunjukkan gambar 25.

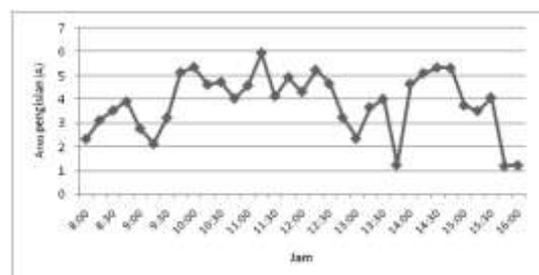


Gambar 25 Gelombang keluaran tegangan (atas) dan arus (bawah) beban pompa air

Pada gambar 25 terlihat dua bentuk gelombang, gambar atas adalah bentuk gelombang tegangan keluaran inverter beban motor pompa air yaitu kotak, dengan frekuensi 50.22 Hz dan *duty cycle* 50%. Gelombang tegangan yang terlihat adalah kotak, hal ini sudah sesuai dengan teori yang diharapkan pada keluaran inverter *full bridge*, jadi kerja rangkaian kontrol dan rangkaian daya pensaklaran inverter sudah berjalan dengan baik. Gambar bawah adalah bentuk gelombang arus keluaran inverter beban motor pompa air, bentuk gelombang sangat tidak beraturan, terjadi penurunan dan kenaikan amplitudo yang sangat curam pada tiap siklusnya.

4.2 Pengujian pengisian baterai dan pengaplikasian inverter pada pompa air

Dari pengujian didapatkan data sebagai berikut.



Gambar 26 Kurva hubungan tegangan dan arus pengisian dengan waktu pengisian hari Rabu

Dari gambar 26 terlihat bahwa arus pengisian tertinggi pada pukul 11.15, yakni mencapai 5.93 A. Tegangan awal baterai sebelum pengisian fotovoltaik adalah 12.42 Volt, setelah pengisian tegangan baterai adalah 12.96 Volt.

Pengaplikasian inverter dilakukan dengan mengisi tandon air yang bervolume 60 liter secara berulang-ulang sampai BCR mencapai titik mati bawah yaitu pada tegangan 10.7 V. Pada pengaplikasian inverter pada sistem pompa air fotovoltaik didapatkan data sebagai berikut:

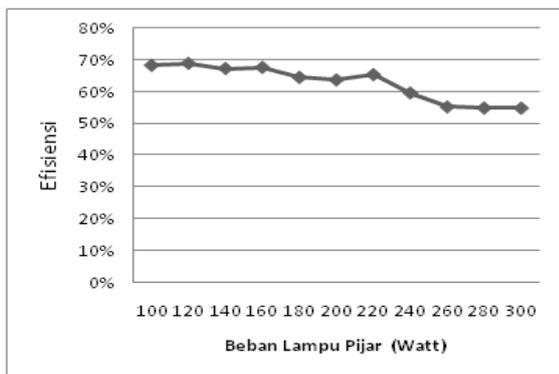
Tabel 1 Data pengujian dengan pengisian tandon air hari Rabu

Durasi (menit)	Vac (Volt)	Iac (A)	Cos φ	Vdc (Volt)	Idc (Ampere)
1	230.2	1.17	0.817	11.64	29.89
5	229.6	1.13	0.824	11.59	29.74
10	224.5	1.12	0.823	11.54	28.55
15	221.1	1.1	0.817	11.47	27.87
20	220.5	1.09	0.794	11.32	26.73
25	220.2	1.02	0.803	11.22	25.93
30	214.1	0.97	0.823	11.16	25.55
35	213.9	0.93	0.789	11.13	24.98
40	212.2	0.9	0.816	11.04	24.65
45	209.5	0.89	0.823	11.01	24.26
50	200.8	0.87	0.815	10.92	23.25
53	199.7	0.82	0.821	10.81	22.58

Dari tabel 1 Maka untuk satu siklus pengisian baterai, energi yang tersimpan dalam baterai dapat digunakan untuk memompa air sebanyak 1467 liter, dan digunakan dengan durasi waktu pemakaian selama 53 menit.

4.3 Efisiensi inverter

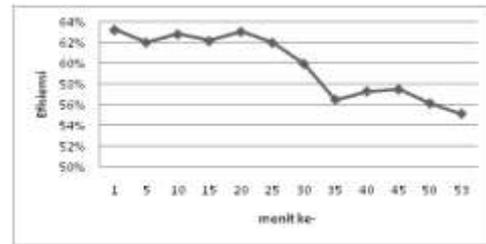
Dari data pengujian dengan beban lampu pijar didapatkan data efisiensi sebagai berikut ini:



Gambar 27 Kurva hubungan pembebanan lampu pijar terhadap efisiensi

Dari gambar 27 terlihat dengan pembebanan lampu pijar dengan rating daya yang semakin besar, efisiensi inverter semakin menurun. Efisiensi tertinggi pada beban lampu pijar 120 Watt yaitu 69%, dan efisiensi terendah pada beban lampu pijar 260, 280, dan 300 Watt yaitu hanya 55%. Hal ini disebabkan karena semakin besar beban, maka arus primer dari baterai yang menuju trafo daya inti ferit untuk menaikkan tegangan akan semakin besar, sehingga banyak daya yang dirubah menjadi panas, juga disebabkan karena semakin naik arusnya, rugi-rugi komponen pensaklaran juga semakin besar yang dirubah menjadi panas.

Dari data pengujian dengan beban motor pompa air didapatkan data efisiensi sebagai berikut ini:

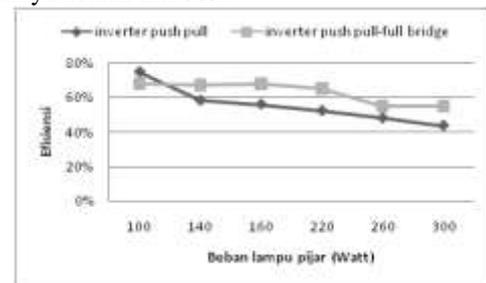


Gambar 28 Kurva hubungan pembebanan motor pompa air terhadap efisiensi hari Rabu

Dari gambar 28 terlihat efisiensi tertinggi pada pengisian menit ke-1 yaitu 63%, dan efisiensi terendah pada menit ke-53 yaitu 55%. Hal ini disebabkan karena rugi-rugi pada penghantar, trafo daya inti ferit naik tegangan, dan juga komponen pensaklaran. Faktor lainnya karena semakin lama inverter bekerja dengan arus pengosongan yang besar dan cenderung tetap, kemampuan baterai untuk menyuplai beban akan semakin menurun.

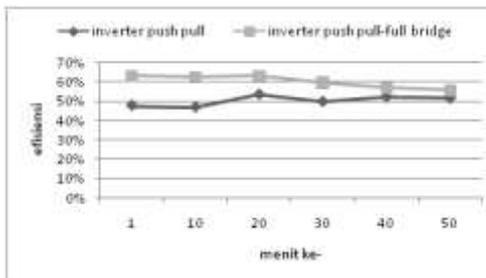
4.3.2 Peningkatan efisiensi inverter

Salah satu tujuan dari penelitian ini adalah meningkatkan efisiensi inverter dari inverter yang dirancang dengan konfigurasi *push pull*, dengan trafo penaik tegangannya adalah inti besi.



Gambar 29 Grafik perbandingan inverter *push pull* dan inverter *push pull-full bridge* pada beban lampu pijar

Pada gambar 29 terlihat rata-rata efisiensi inverter *push pull-full bridge* lebih tinggi 8% dari inverter *push pull*. Efisiensi tertinggi inverter *push pull* 75% pada beban 100 Watt, dan efisiensi terendah 44% pada beban 300 Watt. Efisiensi tertinggi inverter *push pull-full bridge* 68% pada beban 100 dan 160 Watt, dan efisiensi terendah 55% pada beban 260 dan 300 Watt.



Gambar 30 Grafik perbandingan inverter *push pull* dan inverter *push pull-full bridge* pada beban motor pompa air.

Pada gambar 30 terlihat rata-rata efisiensi inverter *push pull-full bridge* lebih tinggi 10% dari inverter *push pull*. Efisiensi tertinggi inverter *push pull* 54% pada menit ke-20, dan efisiensi terendah 48% pada menit ke-10. Efisiensi tertinggi inverter *push pull-full bridge* 63% pada menit ke-1 sampai 30, dan efisiensi terendah 56% pada menit ke-50.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan perancangan, pengujian dan analisa yang telah dilakukan pada Penelitian ini, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengisian baterai dilakukan selama lima hari dari pukul 08:00 sampai 16:00. Tegangan awal baterai hari Rabu dari 12.42 V menjadi 12.96 V, hari Kamis dari 12.31 V menjadi 12.88 V, hari Jumat 12.44 V menjadi 13.01 V, hari Sabtu dari 12.38 V menjadi 12.91 V, dan hari Minggu dari 12.45 V menjadi 12.88 V.
2. Bentuk gelombang keluaran tegangan dan arus inverter dengan beban lampu pijar yaitu sama-sama kotak. Bentuk gelombang keluaran dengan beban motor pompa air untuk tegangan yaitu kotak, sedangkan untuk arus terjadi penurunan dan kenaikan amplitudo yang sangat curam pada tiap siklusnya.
3. Inverter dapat dibebani dengan beban penerangan berupa lampu pijar antara 100-300 Watt pada tegangan kerja 220 Volt 50 Hz dengan arus discharging antara 14.11-37.2 A. Efisiensi rata-rata inverter dengan beban lampu pijar yaitu 63%.
4. Inverter dapat dibebani dengan motor pompa air 125 Watt pada tegangan kerja 220 Volt 50 Hz. Pada hari Rabu dapat menyuplai tandon air 1467 liter selama 53 menit, hari Kamis dapat menyuplai 1329 liter selama 48 menit, hari Jumat dapat menyuplai 1578 liter selama 57 menit, hari Sabtu dapat menyuplai 1495 liter selama 54 menit, hari Minggu dapat menyuplai 1384 liter selama 50 menit. Efisiensi rata-rata inverter dengan beban motor pompa air yaitu 61%.
5. Peningkatan efisiensi dari inverter *push pull* dengan trafo step up inti besi yaitu untuk beban lampu pijar efisiensi rata-rata meningkat dari 56% menjadi 63%. Untuk beban pompa air, efisiensi rata-rata inverter sebelumnya 50% menjadi 60%.

5.2 Saran

Saran yang dapat saya berikan dalam Penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu adanya perbaikan efisiensi inverter misalnya dengan menggunakan inverter resonan dengan Zero Voltage Switching (ZVS) maupun Zero Current Switching (ZCS) serta meniadakan transformator step-up untuk mengurangi rugi-rugi akibat pemakaian trafo.
2. Pengembangan dengan menggunakan inverter yang berbasis mikrokontroler (*Sinusoidal Pulse Width Modulation*) dan filter yang dapat menghasilkan tegangan gelombang sinus.
3. Sistem pompa air fotovoltaik ini dapat dikembangkan dengan modul fotovoltaik dan baterai yang berkapasitas lebih besar, yang dilengkapi dengan PWM BCR (*Battery Charger Controller*) dan *Maximum Peak Point Tracker* (MPPT)..

Daftar Pustaka

- [1] Cook Gary, Billman Lynn, Adcock Rick, *Photovoltaic Fundamental*, U.S. Department Of Energy (DOE), 1991.
- [2] Dunlop ,James P., P.E., *Batteries and charge Control in Stand-Alone Photovoltaic Systems Fundamentals and Application*, Florida Solar Energy Center, 1997.
- [3] Hadi Harsono, *Photovoltaic water pump system* , Disertasi, Kochi University of Technology, 2003.
- [4] Lister, *Rangkaian dan Mesin Listrik*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1993.
- [5] Mohan.Ned ,Tore M.Undeland ,William P Robbins, *Power Electronics : Converter, Applications, and Design*, John Wiley and Sons Inc, Canada, 1995.
- [6] Munoz, J., Lorenzo, E., *Technical standard for stand-alone PV systems using inverters*, Instituto de Energía Solar, Universidad Politécnica de Madrid. 2003.
- [7] Patel, Mukund R, *Wind and Solar Power System*, CRC Press, 1999.
- [8] Rashid M, *Power Electronics Circuit, Device, and Application 2nd*, Prentice-Hall International Inc, 1988.
- [9] Septayudha, Arie, *Perancangan Inverter Jenis Push-Pull Dan ON/OFF Battery Charger Regulator (BCR) Pada Aplikasi Fotovoltaik Sebagai Sumber Energi Untuk Pompa Air Atau Penerangan*. Universitas Diponegoro. 2009.
- [10] Sulasno, *Dasar Konversi Energi dan Sistem Pengaturan*, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, 2003.
- [11] Sutrisno, *Merawat dan memperbaiki pompa air*, Kawan pustaka, 2008.
- [12] Vervaart, M.R. dan Nieowenhout, *FDJ. 2001. Solar Home System. Washington D.C: The World Bank* , 2000.
- [13] Wildi Theodore, *Electrical Machines, Drives, and Power Systems*, Third Edition, Prentice-Hall International Inc, 1997.
- [14] Wong Fu Keung, Eng B., and Phil M., *High Frequency Transformer for Switching Mode Power Supply*, School of Microelectronic Engineering, Faculty of Engineering and Information Technology, Griffith University, Brisbane, Australia. 2004.
- [15] Zeidane Bouna Ould, *Contribution to the study of the grid connected photovoltaic system*, Universite De Batna, 2006.