

PERANCANGAN INVERTER JENIS *PUSH-PULL* DAN *ON/OFF* BATTERY CHARGER REGULATOR (BCR) PADA APLIKASI FOTOVOLTAIK SEBAGAI SUMBER ENERGI UNTUK POMPA AIR ATAU PENERANGAN

Arie Septayudha¹, Agung Warsito², Karnoto²
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik – Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto SH Tembalang, Semarang 50275
email : arie_septayudha@yahoo.com

ABSTRAK

Matahari merupakan sumber energi yang terbaharukan, ramah lingkungan dan dapat ditemui di berbagai belahan bumi. Oleh karena itu, harus dimanfaatkan semaksimal mungkin untuk memenuhi kebutuhan umat manusia. Salah satunya dimanfaatkan untuk pembangkit listrik yaitu sel fotovoltaik. Sel fotovoltaik mampu mengubah energi surya menjadi energi listrik.

Energi listrik yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik disimpan pada baterai dalam bentuk energi elektrokimia. Proses penyimpanan energi listrik pada baterai diatur dengan Battery Charger Regulator (BCR) dengan sistem ON/OFF yang memiliki titik mati atas (HVD) dan titik mati bawah (LVD) untuk melindungi baterai dari pengisian dan pengosongan berlebih. Kendala utama dalam aplikasi fotovoltaik ini adalah arus yang dihasilkan oleh sel fotovoltaik adalah arus searah (DC), padahal sebagian besar pompa air yang digunakan oleh masyarakat membutuhkan arus bolak balik (AC). Oleh karena itu dibutuhkan suatu inverter yang berfungsi merubah arus searah menjadi arus bolak balik.

Dalam tugas akhir ini merancang inverter jenis *push-pull* untuk diaplikasikan pada sistem pompa air fotovoltaik. Inverter *push-pull* memiliki spesifikasi tegangan input DC 12V, tegangan output AC 220 V frekuensi 50 Hz dengan keluaran berbentuk gelombang kotak (*square wave*).

Kata kunci : Fotovoltaik, battery charger regulator, Inverter

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi baru dan terbarukan mulai mendapat perhatian sejak terjadinya krisis energi dunia yaitu pada tahun 70-an dan salah satu energi itu adalah energi surya. Cahaya matahari jumlahnya melimpah dan bahkan untuk negara tropis, penyinaran matahari hampir sepanjang tahun. Oleh karena itu, pembangkit listrik tenaga surya sangat cocok untuk diaplikasikan di Indonesia.

Tenaga surya memiliki beberapa keuntungan antara lain energinya tersedia secara cuma-cuma, perawatannya mudah, tidak ada komponen yang bergerak sehingga tidak menimbulkan suara/kebisingan, serta mampu bekerja secara otomatis. Akan tetapi tenaga surya juga memiliki kendala yaitu energi yang dihasilkan tergantung pada intensitas cahaya matahari yang tidak tersedia 24 jam sehari sehingga diperlukan suatu media penyimpanan energi berupa baterai sebagai sumber pada saat intensitas cahaya menurun atau bahkan tidak ada sama sekali.

Proses pengisian dan pengosongan baterai diatur dengan *battery charger regulator* yang terdiri atas rangkaian titik mati atas dan titik mati bawah untuk melindungi baterai dari pengisian dan pengosongan berlebih.

Tegangan yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik berupa tegangan DC 12 V. Apabila digunakan untuk menyuplai pompa air maka diperlukan peralatan tambahan untuk mengkonversi tegangan DC menjadi AC. Untuk menyesuaikan tegangan AC tersebut maka ditambah trafo.

Pada tugas akhir ini merancang inverter jenis *push-pull* untuk diaplikasikan pada sistem pompa air fotovoltaik dengan spesifikasi tegangan input DC 12V, tegangan output 220 V AC frekuensi 50 Hz dengan keluaran berbentuk gelombang kotak (*square wave*).

1.2 Tujuan

Adapun beberapa tujuan Tugas Akhir ini antara lain :

1. Merancang Inverter untuk menghasilkan tegangan AC 220 Volt untuk dapat menggerakkan pompa air.
2. Melaporkan proses pengisian dan pengosongan baterai pada sistem pompa air fotovoltaik oleh Battery Charger Regulator (BCR).
3. Mengaplikasikan inverter *push-pull* pada sistem pompa air fotovoltaik.

1.3 Batasan Masalah

Pada Tugas Akhir ini, pembahasan dibatasi pada batasan-batasan berikut ini :

1. Modul fotovoltaik yang digunakan adalah jenis polikristal dengan tegangan 12 V dan daya output 120 Watt.
2. Posisi modul fotovoltaik terhadap matahari adalah tetap, dilakukan di kawasan kampus teknik elektro Undip serta tidak mengukur intensitas harian radiasi matahari.
3. Tidak membahas pengaruh suhu permukaan fotovoltaik terhadap daya yang dihasilkan oleh modul fotovoltaik
4. Baterai yang digunakan adalah jenis asam timbal dengan tegangan nominal 12 V.
5. Tidak membahas struktur kimia baterai secara detail.
6. Pengaturan pengisian dan pengosongan baterai dilakukan secara ON/OFF.
7. Inverter satu fasa yang digunakan adalah inverter jenis *Push- Pull* .
8. Inverter yang digunakan memiliki *duty cycle* yang tetap serta frekuensi yang tetap.
9. Harmonisa tegangan yang dihasilkan dari kontrol tegangan AC diabaikan karena sudah dibahas pada tugas akhir sebelumnya.

^[1]Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Undip

^[2]Dosen Jurusan Teknik Elektro Undip

10. Beban induktif yang digunakan adalah motor induksi 1 fasa berupa pompa air 125 Watt
11. Beban Penerangan yang digunakan adalah lampu pijar.
12. Tidak membahas mekanika fluida pompa air secara mendetail.

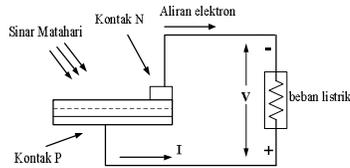
II. DASAR TEORI

2.1 Fotovoltaik

Efek fotovoltaik adalah potensial listrik yang ditimbulkan antara dua material yang sama ketika sambungan bersamanya disinari oleh radiasi foton. Sel fotovoltaik mengubah cahaya menjadi listrik secara langsung.

2.1.1 Sel Fotovoltaik

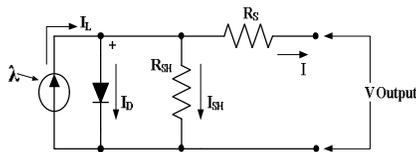
Sifat-sifat sel fotovoltaik sebenarnya sangat mirip dengan sambungan p-n pada diode konvensional. Ketika cahaya diserap oleh sambungan tersebut, energi foton yang diserap dipindahkan kepada sistem elektron material, yang menghasilkan pembentukan pembawa muatan yang terpisah pada sambungan. Pembawa muatan mungkin saja berupa pasangan elektron-ion pada cairan elektrolit atau pasangan elektron-lubang pada material semikonduktor padat. Pembawa muatan ini kemudian membentuk gradient potensial pada daerah sambungan, dipercepat dalam medan listrik dan mengalir sebagai arus melalui suatu rangkaian eksternal. Rugi daya (I^2R) pada rangkaian merupakan daya yang diubah menjadi listrik.



Gambar 2.1 Efek fotovoltaik merubah energy foton menjadi tegangan yang melintasi sambungan p-n

2.1.2 Rangkaian Ekuivalen

Sifat fisik sel fotovoltaik dapat disederhanakan menjadi rangkaian ekuivalen seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4, parameter-parameter rangkaian adalah sebagai berikut:



Gambar 2.2 Rangkaian Ekuivalen Sel Fotovoltaik

Arus terminal output I adalah sama dengan arus yang dihasilkan dari cahaya I_L , dikurangi arus Diode I_d dan arus bocor-shunt I_{sh} . Resistansi seri R_s mewakili resistansi internal pada aliran arus, dan bergantung pada lebar sambungan p-n, ketidakmurnian dan resistansi kontak. Resistansi shunt R_{sh} berkebalikan dengan arus bocor ke tanah. Pada suatu sel fotovoltaik yang ideal, $R_s = 0$ (Resistansi seri tidak ada) dan $R_{sh} = \infty$ (kebocoran ke ground tidak ada). Pada 1 m^2 sel silicon kualitas tinggi tertentu, $R_s = 0,05$ sampai $0,1 \text{ ohm}$ dan $R_{sh} = 200$ sampai 300 ohm . Perubahan efisiensi akan sangat berpengaruh untuk sedikit variasi R_s , tetapi variasi R_{sh} pengaruhnya sangat kecil. Sedikit kenaikan R_s dapat menurunkan output fotovoltaik secara signifikan. Pada rangkaian ekuivalen, arus yang dikirim kepada beban luar sama dengan arus I_L yang dihasilkan oleh pencahayaan, dikurangi arus diode I_d dan arus shunt ke tanah I_{sh} . Tegangan

hubung buka V_{oc} sel diperoleh ketika arus bebannya nol, $I=0$, dan diberikan oleh berikut ini:

$$V_{oc} = V + I R_{sh} \quad (2.1)$$

Arus diode diberikan oleh persamaan arus diode klasik :

$$I_d = I_D \left[\frac{QV_{oc}}{AKT} - 1 \right] \quad (2.2)$$

Dimana :

I_D = arus saturasi diode

Q = muatan elektron = 1.6×10^{-19} Coulombs

A = konstanta penyesuaian kurva

K = konstanta Boltzman = 1.38×10^{-23} Joule/ $^\circ\text{K}$

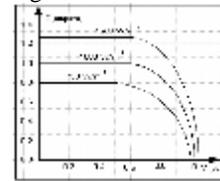
Sehingga arus beban didapatkan melalui persamaan :

$$I = I_L - I_D \left[e^{\frac{QV_{oc}}{AKT}} - 1 \right] - \frac{V_{oc}}{R_{sh}} \quad (2.3)$$

Bagian yang terakhir, arus bocor ke tanah, pada kenyataannya sangat kecil bila dibandingkan I_L dan I_D sehingga dapat diabaikan. Arus saturasi diode kemudian dapat ditentukan secara eksperimen dengan menerapkan tegangan V_{oc} di tempat yang gelap dan mengukur arus yang menuju sel. Arus ini sering disebut arus gelap atau arus balik saturasi diode.

2.1.3 Kurva i-v dan p-v

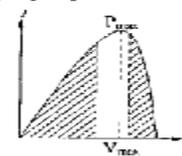
Karakteristik kelistrikan pada sel fotovoltaik umumnya dinyatakan dengan kurva arus dan tegangan (i-v).



Gambar 2.3 Kurva V-I untuk berbagai tingkat radiasi

Pada tegangan rendah arus yang dihasilkan cenderung konstan, tetapi ketika tegangan semakin bertambah arus yang terjadi semakin menurun. Hal ini terjadi karena adanya arus bocor pada sel surya yang arah alirannya berlawanan dengan arah arus pada beban. Semakin besar tegangan pada p-n junction, semakin besar pula arus bocor yang terjadi.

Daya keluaran panel dihasilkan dari perkalian tegangan dan arus keluaran. Pada gambar 2.6 menunjukkan hubungan daya dengan tegangan pada fotovoltaik.



Gambar 2.4 Karakteristik daya dan tegangan (p-v) pada modul fotovoltaik di bawah sinar matahari.

Perlu diperhatikan bahwa sel tidak akan menghasilkan daya saat tegangannya nol atau arusnya nol, dan menghasilkan daya maksimum pada tegangan yang sesuai dengan titik lutut kurva i-v. Itulah sebabnya mengapa rangkaian daya fotovoltaik dirancang sedemikian hingga modul fotovoltaik tersebut beroperasi mendekati titik lutut, sedikit ke sisi kanan.

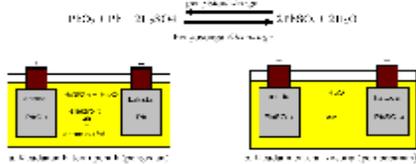
2.2 Baterai

Baterai adalah salah satu komponen penyimpanan energi yang dapat mengubah energi listrik menjadi energi kimia dan energi kimia menjadi energi listrik. Banyak jenis baterai yang dapat dipakai pada sistem ini. Salah satunya adalah jenis asam timbal (*lead acid*).

Baterai ini tersusun dari beberapa sel elektrokimia dan masing-masing sel bekerja dengan mempergunakan elektroda

positif (anoda) yang terbuat dari PbO₂ (*lead oxide*) dan elektroda negatif (katoda) dari bahan Pb (*lead*), sedangkan larutan elektrolit yang digunakan terdiri dari asam sulfat (H₂SO₄) dan air (H₂O). Untuk baterai 12 Volt nominal biasanya terdiri dari 6 sel dengan masing-masing sel memiliki tegangan 2 Volt

Proses pengisian dan pengosongan baterai dapat dilihat pada gambar berikut ini:

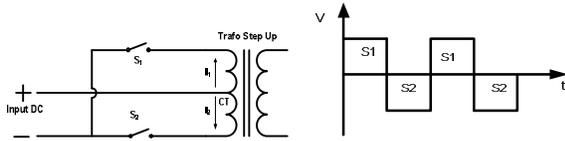


Gambar 2.5 Proses charger dan discharge pada baterai

Besarnya energi yang dapat disimpan dan dikeluarkan oleh baterai disebut sebagai kapasitas baterai. Kapasitas energi suatu baterai diukur dalam ampere jam (Ah). Misalkan, kapasitas baterai 100 Ah 12 Volt artinya secara ideal arus yang dapat dikeluarkan sebesar 5 Ampere selama 20 jam pemakaian.

2.3 Inverter jenis push-pull

Secara sederhana prinsip kerja inverter dapat dijelaskan pada gambar 2.14 berikut ini:

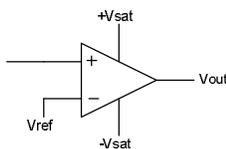


Gambar 2.6 (a) Prinsip kerja inverter^[6] (b) Gelombang output^[6]

Dengan menutup S1 maka arus yang mengalir ke trafo adalah I₁, sedangkan pada saat menutupnya S2 (S1 buka) maka yang mengalir adalah I₂. Selanjutnya dengan mengulang-ulang proses diatas maka akan dihasilkan tegangan bolak-balik (AC) yang kemudian tegangannya dinaikkan dengan transformator.

2.4 Penguat Operatif (Op-Amp) sebagai pembanding

Pembanding berfungsi untuk membandingkan 2 buah level tegangan yang masuk ke terminal masukan op-amp. Salah satu masukan ke terminal membalik yaitu tegangan referensi (V_{ref}) dan masukan lain ke terminal tak membalik yaitu V_{in}. Rangkaian dasar sebuah komparator ditunjukkan pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Pembanding (Comparator)

Pembanding hanya memiliki dua level keluaran yaitu +V_{sat} dan -V_{sat}. Keluaran pembanding akan berharga +V_{sat} jika masukan pada terminal tak membalik lebih besar dari level tegangan masukan pada terminal membalik, dan akan berharga -V_{sat} jika tegangan masukan pada terminal tak membalik lebih kecil dari level tegangan masukan pada terminal membalik^[5]

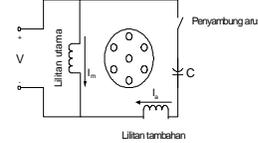
2.5 Motor Induksi Satu Fasa

Motor induksi satu fasa adalah motor yang paling familier dari semua motor listrik karena motor ini digunakan dalam aplikasi rumah, industri kecil, hiburan dan peralatan mesin yang portabel, motor ini sering digunakan apabila motor induksi tiga fasa atau suplai tiga fasa tidak tersedia.

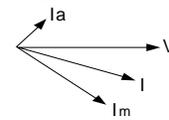
2.5.1 Motor Starting Kapasitor

Pada motor start kapasitor (*capasitor start*) perbedaan fasa antara kedua arus diperoleh melalui kapasitor

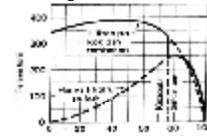
yang dipasang secara seri dengan lilitan tambahan seperti pada gambar 2.8, Lilitan tambahan diputuskan hubungannya setelah motor mulai hidup. Sakelar pemutus biasanya menggunakan sakelar *sentrifugal* yang akan memutuskan kapasitor dan lilitan tambahan jika motor telah berjalan 75% dari kecepatan normalnya. Dengan menggunakan kapasitor yang besarnya tepat, arus lilitan tambahan I_a dalam keadaan berhenti dapat dibuat mendahului arus lilitan utama I_m sebesar 90 derajat listrik, seperti pada gambar 2.9. Karakteristik kecepatan – torsi terlihat pada gambar 2.10 yang menunjukkan torsi awal yang tinggi.^{[17][20]}



Gambar 2.8 Rangkaian motor kapasitor-start^[14]



Gambar 2.9 Diagram fasor saat dihidupkan^[14]



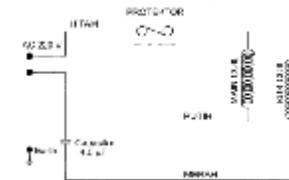
Gambar 2.10 Karakteristik Torsi – Kecepatan Motor kapasitor^[13]

2.5.2 Pompa air sentrifugal

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 digambarkan sebagai berikut:



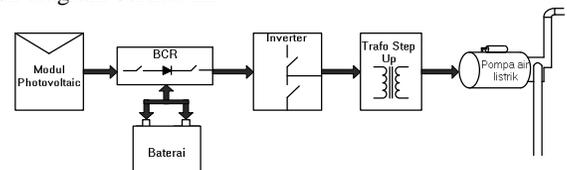
Gambar 2.11 Skema cara kerja motor pompa air



Gambar 2.12 Rangkaian dasar motor listrik 1 fasa pada pompa air

III. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Adapun gambaran umum tentang alat dapat dilihat pada blok diagram berikut ini:



Gambar 3.1. Blok diagram alat

3.1 Modul Fotovoltaik

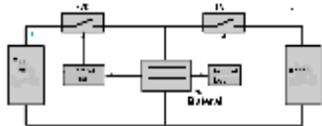
Modul Fotovoltaik terdiri dari beberapa sel surya yang dipasang secara seri dan paralel pada rangkanya.

Spesifikasi modul modul fotovoltaik yang digunakan pada tugas akhir ini adalah sbb:

Maximum Power (+10% / -5%) (P_{max})	: 120 W
Maximum Power Voltage (V_{pm})	: 17.1 V
Maximum Power Current (I_{pm})	: 7.02 A
Open voltage (V_{OC})	: 21.3 V
Short circuit (I_{SC})	: 7.81 A
Jumlah Sel fotovoltaik	: 36
Material Sel fotovoltaik	: Silikon biru
Efisiensi	: 12 %

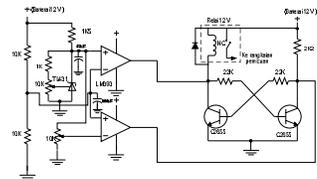
3.2 Battery Charger Regulator

Battery charger regulator terdiri atas rangkaian HVD (High Voltage Disconnect) dan LVD (Low Voltage Disconnect). Kedua rangkaian ini hampir sama kecuali pada penggunaan logika untuk relay magnetiknya. Rangkaian umum battery charger regulator dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 3.2 Rangkaian battery charger regulator seri

Battery charger regulator yang digunakan menggunakan jenis regulator seri dengan menggunakan relay magnetik sebagai komponen saklar. Relay magnetik dipilih karena lebih aman dialiri arus besar. Rangkaian kontrol untuk HVD maupun LVD hampir sama, yaitu seperti pada gambar dibawah ini:

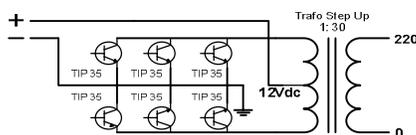


Gambar 3.3 Rangkaian control HVD dan LVD

Perbedaan rangkaian HVD dan LVD hanya pada hubungan rangkaian kontrolnya dengan relay magnetik.

3.3 Inverter Push-Pull

Rangkaian Inverter Push-Pull ini digunakan untuk mengubah tegangan DC 12 Volt dari modul fotovoltaik/baterai menjadi tegangan AC yang kemudian dinaikkan menjadi 220 V. Inverter ini menggunakan transistor sebagai saklarnya yaitu transistor NPN tipe TIP35. Rangkaian inverternya dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 3.4 Rangkaian Push-Pull Inverter

Dari gambar terlihat bahwa transistor yang digunakan adalah 6 buah, dimana tiap 3 buah transistor diparalel untuk mewakili 1 pada rangkaian inverter *push-pull*. Hal ini dilakukan untuk membagi arus sehingga transistor tidak panas akibat dibebani arus besar.

3.4 Rangkaian Driver dan Isolator Pulsa

Rangkaian driver terdiri atas 2 buah mosfet sebagai gerbang NOT dan sebuah transformator pulsa untuk mendrive transistor.

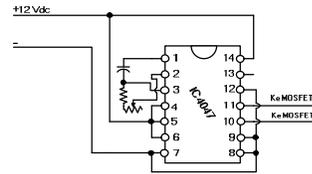


Gambar 3.5 Driver transistor dengan menggunakan Transformator pulsa

Transformator pulsa ini merupakan transformator berinti besi lunak dengan perbandingan 4 : 1, dimana tegangan primernya 12 V yang berasal dari baterai dan sekundernya 3 Volt..

3.5 Rangkaian Osilator Pulsa

Rangkaian osilator pulsa untuk inverter ini dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 3.6 Rangkaian Osilator

Rangkaian osilator pulsa ini menggunakan IC 4047 untuk menghasilkan gelombang kotak untuk pemicuan Transistor TIP 35. Gelombang kotak yang dihasilkan memiliki frekuensi 50 Hz dengan *duty cycle* 50%.

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

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

4.1 Pengujian Inverter

Pengujian inverter meliputi pengujian sinyal pemicuan dan pengujian output inverter.

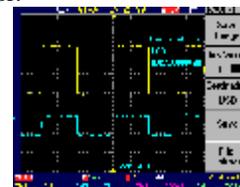
4.1.1 Sinyal pemicuan

Bentuk gelombang sinyal pemicuan transistor dari IC 4047 dapat dilihat pada gambar dibawah:



Gambar 4.1 Sinyal pemicuan Transistor oleh IC 4047 (V/div=5V dan T/div=5ms)

Keluaran IC 4047 adalah tegangan 12 V. Sedangkan untuk memicu transistor dibutuhkan tegangan 6 Vpp sehingga dibutuhkan driver untuk menyesuaikan tegangan untuk pemicuan transistor.

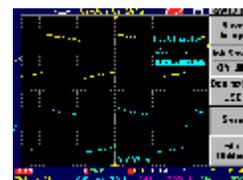


Gambar 4.2 Sinyal pemicuan transistor dari IC 4047 (gambar atas) dan sinyal pemicuan setelah melewati transformator pulsa (gambar bawah) (V/div=5V dan T/div=5ms)

Dari gambar diatas tampak sinyal pemicuan dari IC 4047 (atas) dan keluaran trafo pulsa (bawah).

4.1.2 Pengujian output inverter

Pengujian output inverter meliputi pengujian bentuk gelombang tegangan dan arus dengan beban resistif dan beban induktif.



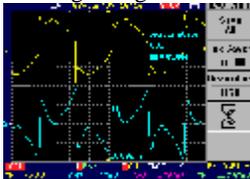
Gambar 4.3 Gelombang output tegangan inverter dengan beban R (kuning atas) (V/div=2V, T/div=5ms) dan gelombang arus beban inverter (biru bawah) (V/div=20mV, T/div=5ms)

Dari gambar 4.3 tersebut, gelombang kotak pada keluaran inverter memiliki frekuensi 52 Hz dengan *duty cycle*

50 %. Kemudian dengan perbandingan probe 100 : 1 dapat diketahui bahwa tegangan maksimumnya adalah 230 Volt. Gelombang arus didapatkan dengan menambahkan sebuah resistor secara seri dengan beban dan mengukur tegangan pada resistor tersebut sehingga $I = \frac{V}{R} = \frac{0.120}{0.1} = 1,2 A$.

Dari gambar 4.3 juga terlihat bahwa bentuk gelombang arus beban inverter sama dengan bentuk gelombang tegangan output inverter. Hal ini sesuai dengan teori bahwa pada beban resistif arus dan tegangan akan linier sehingga tegangan dan arusnya sefasa dan memiliki bentuk yang sama.

Untuk pengujian output inverter dengan menggunakan beban induktif digunakan lampu TL dan motor pompa tanpa beban. Dari hasil pengujian dengan osiloskop dihasilkan gambar bentuk gelombang sebagai berikut :



Gambar 4.4 Gelombang output tegangan inverter dengan beban L (kuning atas) CH1 (V/div=2V, T/div=5ms) dan gelombang arus beban inverter beban L (biru bawah) CH2 (V/div=20mV, T/div=5ms)

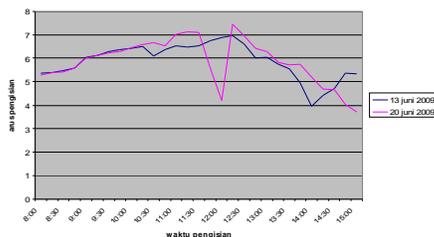
Dari gambar 4.4 tersebut, gelombang pada keluaran inverter memiliki frekuensi 52 Hz dengan *duty cycle* 50 %. Kemudian dengan perbandingan probe 100 : 1 dapat diketahui bahwa tegangan maksimumnya adalah 230 Volt. Sedangkan arus maksimumnya adalah 0,9 A . Terjadi perbedaan antara hasil yang didapat antara beban resistif dengan beban motor, saat sinyal mendekati tegangan nol, bentuk gelombang tegangan dan arus yang dihasilkan oleh beban resistif akan berhenti ditegangan nol yang menandakan bahwa tegangan dan arus *off* secara bersamaan. Sedangkan pada beban yang menggunakan motor induksi, hal ini sesuai dengan teori pada bab sebelumnya bahwa tegangan yang mendekati nol akan diteruskan sampai pemicuan Transistor berikutnya dilakukan. Pada gelombang tegangan dan arus timbul juga *spike* atau lonjakan tegangan yang diakibatkan karakteristik pembebanan dengan motor induksi.

4.2 Pengujian pengisian dan pengosongan baterai dengan Battery Charger Regulator

Pengujian pengisian baterai ini bertujuan untuk mengetahui besarnya arus dan tegangannya pada saat baterai disuplai oleh modul fotovoltaik dan saat energi yang tersimpan dalam baterai digunakan untuk menyuplai beban.

4.2.1 Pengisian baterai

Dari pengujian pengisian baterai didapatkan grafik sebagai berikut :



Gambar 4.5 Kurva hubungan arus pengisian dengan waktu pengisian

Dari kurva diatas terlihat bahwa arus paling tinggi terjadi pada saat tengah hari pukul 12.15, yakni mencapai 6,96 A untuk tanggal 13 juni 2009 dan 7,47 A untuk tanggal 20 juni 2009 , selanjutnya makin menurun ketika hari makin sore. Puncak cahaya matahari terjadi sekitar pukul 12 siang. Kondisi yang berawan dan mendung menyebabkan arus pengisian turun drastis , hingga mencapai 3,96 A untuk tanggal 13 juni 2009 sedangkan pada tanggal 20 juni kondisi

mendung menyebabkan arus turun dari 7 A menjadi 5 A. Kondisi baterai penuh diketahui dengan mengukur tegangan hubung buka baterai setelah diisi. Kemudian dibiarkan selama 24 jam hingga tegangannya stabil. Tegangan rata-rata baterai penuh untuk tiap pengisian adalah 12,90 A . Maka dengan modul fotovoltaik 120 W dapat digunakan mengisi baterai 70 Ah selama kurang lebih 8 jam

4.2.2 Pengosongan baterai

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja rangkaian LVD. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan variasi beban lampu TL DC 12V 10W merk Sundaia. Dari pengujian tersebut didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.2 Data pengujian pengosongan baterai

Beban lampu TL (Watt)	Titik LVD (Volt)
10	10,95
20	10,95
30	10,96
40	10,97
50	10,97
60	10,98

Setting tegangan untuk LVD adalah 10,95 Volt. Dari data tabel di atas terlihat bahwa titik LVD untuk tiap beban lampu sudah sesuai dengan *setting*, walaupun terdapat perbedaan yang diakibatkan adanya ripple tegangan pada input komparator sehingga keluarannya sedikit berbeda.

4.3 Pengaplikasian Inverter pada sistem pompa air fotovoltaik.

4.3.1 Pembebanan dengan pompa air

Pada pengaplikasian inverter pada sistem pompa air fotovoltaik didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.3 Data pengukuran pembebanan dengan pompa air

Pengisian tandon ke	Durasi	V _{ac} (Volt)	I _{ac} (Ampere)	Cos φ	V _{dc} (Volt)	I _{dc} (Ampere)	V _{oc} Baterai (Volt)
1	2.12	236	1,01	0,87	11,59	32,9	12,61
2	2.14	220	1,12	0,87	11,56	34,5	12,55
3	2.05	216	0,94	0,87	11,54	28,10	12,49
4	2.1	215	0,93	0,89	11,49	31,62	12,44
5	2.11	214	0,90	0,87	11,40	32,43	12,39
6	2.1	215	0,89	0,88	11,32	30,58	12,34
7	2.11	215	0,89	0,89	11,26	29,56	12,31
8	2.13	214	0,90	0,88	11,18	30,41	12,26
9	2.1	215	0,88	0,87	11,09	31,27	12,17

Sedangkan untuk pengujian durasi pembebanan dengan pompa air didapat data sebagai berikut:

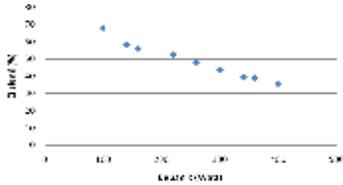
Tabel 4.4 Data pengukuran pembebanan dengan motor pompa

10 me nit ke-	V _{DC} (Volt)	I _{DC} (Ampere)	V _{AC} (Volt)	I _{AC} (Ampere)	Cos φ	Torsi (T)	Putaran motor pompa (n)	ket
1	11.66	29.55	224	1.04	0.71	0.31	2914	-
2	11.49	28.13	221	0.85	0.81	0.29	2883	-
3	11.33	27.78	220	0.98	0.78	0.31	2703	-
4	11.14	29.7	219	0.84	0.81	0.30	2976	-
5	11.19	28.33	220	0.95	0.79	0.32	2611	-
6	11.13	29.8	220	0.98	0.79	0.31	2948	-
7	11.03	-	-	-	-	-	-	Relay aktif

Dari kedua tabel diatas terlihat bahwa energi yang tersimpan dalam baterai setelah diisi dengan modul fotovoltaik mampu untuk menyuplai pompa air selama 1 jam dengan volume air 360 L. kerja inverter berhenti ketika tegangan baterai mencapai 11,03 V sehingga rangkian LVD bekerja dan memutuskan suplai ke pompa air.

4.3.2 Efisiensi

Pengujian efisiensi dilakukan dengan membebani inverter dengan lampu pijar dan beban induktif dalam hal ini motor pompa. Dari data pengujian dengan beban lampu pijar didapatkan grafik sebagai berikut:



Gambar 4. Kurva hubungan pembebanan R dengan efisiensi

Dari gambar diatas, makin besar beban yang digunakan, maka efisiensi inverter menurun, hal ini diakibatkan transformator *step-up* bekerja di atas rating kerjanya, makin naik arus primernya maka sebagian besar dayanya diubah menjadi panas sehingga efisiensinya rendah serta adanya rugi-rugi inti akibat harmonisa yang ditimbulkan oleh komponen saklar. Selain itu, rugi-rugi juga timbul pada proses pensaklaran dimana tiap komponen saklar dibebani arus yang cukup besar sehingga sebagian menjadi rugi-rugi berupa panas.

Untuk perhitungan efisiensi pada beban induktif digunakan data pada tabel 4.3 sehingga diperoleh data efisiensi sebagai berikut:

Tabel 4.7 Tabel perhitungan efisiensi inverter dan efisiensi motor pompa

P _{AC} (Watt)	P _{DC} (Watt)	P _m (Watt)	Efisiensi inverter (%)	Efisiensi motor (%)
165.1062	344.553	94.68684	47.91897	57.34904
152.2274	323.2137	87.57203	47.09805	57.52713
168.6266	314.7474	87.70334	53.57523	52.01037
165.1062	330.858	93.82953	49.90245	56.82979
165.5603	317.0127	87.79543	52.22513	53.02928
170.9434	331.674	95.51701	51.53957	55.87641

Dari data diatas terlihat nilai rata-rata efisiensi inverter adalah 50.37657 % sedangkan efisiensi motor pompa rata-rata 55.437 %. Efisiensi inverter dipengaruhi oleh adanya rugi-rugi pada trafo *step-up* dan pada rugi-rugi pensaklaran. Sedangkan efisiensi motor dipengaruhi oleh rugi-rugi tembaga, rugi-rugi *air gap* pada motor, serta pembebanan motor dengan pompa air.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Inverter *push-pull* yang dirancang memiliki tegangan input DC 12 V dengan tegangan keluaran AC 220 V frekuensi 50 Hz berupa gelombang kotak. Rangkaian pemicuan menggunakan IC 4047 dan rangkaian *driver* menggunakan transformator pulsa.
2. Pengisian dan pengosongan baterai diatur dengan *Battery Charger Regulator* (BCR) dengan sistem kontrol ON/OFF, dengan titik mati bawah (LVD) 10,95V dan titik mati atas (HVD) 14V. Pengisian baterai dengan modul fotovoltaik 120 W memakan waktu 8 jam.
3. Inverter dapat dibebani dengan beban rata-rata 200 W baik berupa pompa air maupun lampu pijar. Sistem pompa air fotovoltaik dengan inverter *push-pull* yang dibuat mampu menyuplai 360 Liter air untuk setiap 1 siklus pengisian baterai selama 1 jam dengan arus *discharging* rata-rata baterai 30 A. Efisiensi rata-rata inverter adalah 50,38% sedangkan efisiensi rata-rata motor adalah 55,44 %.

5.2 Saran

Saran yang dapat saya berikan dalam Tugas Akhir 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. Sistem pompa air fotovoltaik ini dapat dikembangkan dengan modul fotovoltaik yang berkapasitas lebih besar yang dilengkapi dengan PWM BCR (*Battery Charger Controller*) dan *Maximum Peak Point Tracker* (MPPT) untuk meningkatkan efisiensi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Coughlin, Robert and Federick Driscoll, *Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linier*, Jakarta : Erlangga
- [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] Rashid Muhammad H., *Power Electronics: Circuits, Devices and Application*, Prentice-Hall International Inc, Second Edition, New Jersey, 1993.
- [5] J'urgen Schmid and Heribert Schmid, *Power Conditioning for Photovoltaic Power System Handbook of Photovoltaic Science and Engineering..*
- [6] Lister, *Rangkaian dan Mesin Listrik*, Penerbit Erlangga,Jakarta,1993.
- [7] M. Rashid, *Power Electronics Circuit, Device, and Application 2nd*, Prentice-Hall International Inc, 1988.
- [10] Patel, Mukund R, *Wind and Solar Power System*, CRC Press,1999
- [11] Sulasno, *Dasar Konversi Energi dan Sistem Pengaturan*, Badan Penerbit Uniersitas Diponegoro, 2003.
- [12] Sutrisno, *Merawat dan memperbaiki pompa air*, Kawan pustaka.2008
- [13] Zuhail, *Dasar Tenaga Listrik Dan Elektronika Daya*, Gramedia, 1995



Arie Septayudha (L2F004460), Dilahirkan di Selong, Lombok Timur, NTB pada tanggal 15 September 1986. Menempuh pendidikan SDN 3 Selong, SLTP N 1 Selong, SMA N 1 Selong , dan sekarang sedang menempuh pendidikan di Universitas Diponegoro Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro, Konsentrasi Ketenagaan.

Mengetahui,
Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Agung Warsito, DHET
NIP. 131 668 485

Karnoto, ST, MT
NIP. 132 162 547