

Perancangan dan Pembuatan Uninterruptible Power Supply 500 Watt

Abstract

Uninterruptible Power Supply or System (UPS) provides a steady source of electric energy to a piece of equipment. UPS is designed to provide power during all periods wherein the normal or prime source of power is outside acceptable limits, without causing disruption of the flow of power to the load. The other words, if normal power lost, the system still working. In this research, is designed Continuous On-Line UPS 500 Watt; an UPS system for which the load is normally continually drawing power through the batteries, battery charger and inverter and not directly from the normal AC supply. The UPS used the square wave as output to the load. To prevent overheating, this wave must be tightly controlled as to frequency and should have some form of maximum voltage limiting device to limit the maximum output average or RMS voltage to safe levels.

Intisari

Uninterruptible Power Supply atau System (UPS) menghasilkan suatu sumber energi listrik ke suatu peralatan. UPS didisain untuk menghasilkan daya selama periode yang panjang dimana daya dari sumber utama atau sumber normal di luar batas yang dapat diterima, tanpa menyebabkan gangguan aliran daya ke beban. Dengan kata lain, jika daya normal menghilang, sistem tetap bekerja. Pada penelitian ini dirancang UPS 500 Watt jenis On-Line Kontiniu; suatu sistem UPS yang mengalirkan daya langsung ke beban melalui baterai, pengisi baterai dan inverter dan tidak langsung dari suplai AC normal. UPS ini menggunakan bentuk gelombang persegi sebagai output ke beban. Untuk menghindari panas, gelombang ini harus terkontrol terhadap frekuensi dan mempunyai batas tegangan maksimum untuk mendapatkan tegangan RMS dan tegangan rata-rata maksimum pada level yang aman.

Kata Kunci: Uninterruptible Power System, Supply, On-Line Kontiniu, Gelombang Persegi, Elektronika Daya

1. Pendahuluan

UPS pada suatu sistem sangat diperlukan sekali keberadaannya. Fungsi suatu sistem UPS (Uninterruptible Power Supply) adalah menyediakan daya suplai bebas ke beban ac yang tidak dapat langsung diberikan oleh sumber dc. Setiap suplai daya diperlukan untuk komputer, data processor, data transmitter, microwave relay station, digital controller pada proses kimia kompleks, reaktor nuklir, sistem perlindungan pembakaran dan peledakan, dll. Disebabkan keperluan-keperluan ini, aplikasi UPS semakin meningkat hari ke hari^[1].

Fungsi UPS dalam menanggung beban harus memenuhi kriteria sebagai berikut:

1. Kontinuitas suplai daya terjamin

2. Stabilitas dan akurasi sistem tenaga tinggi
3. Aman dari gangguan fluktuasi tegangan
4. Dapat menyediakan suplai daya dalam batas waktu tertentu walaupun terjadi kegagalan pada sumber utama

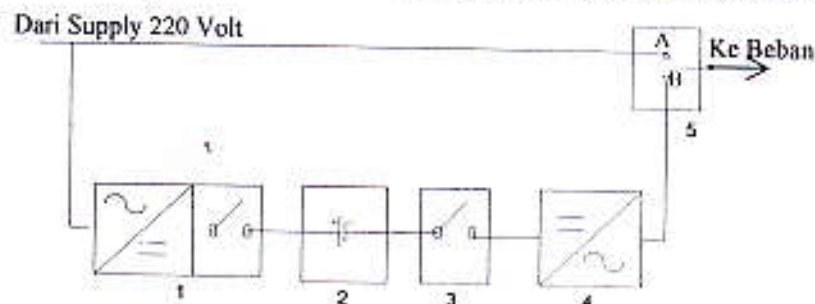
Pada makalah ini dibahas metoda untuk membuat dan merancang UPS jenis On-Line Kontiniu dengan menggunakan output gelombang persegi sebagai gelombang bolak-balik (AC). Jenis gelombang persegi ini digunakan pada komputer, fan dan lampu neon. Konstruksi UPS ini menggunakan jenis static UPS yaitu komponen-komponen statis sebagai penyusun utamanya. Komponen-komponen tersebut adalah komponen elektronika daya yang berfungsi sebagai rectifier (penyearah) dan inverter. Sebagai alat konversi elektromagnetik digunakan transformator step up dan transformator step down.

Pengujian terhadap penelitian ini dilakukan dengan dua tahap yaitu pertama dengan merancang dan menganalisisnya secara eksperimen dan mensimulasikan sistem tersebut dengan bantuan oskiloskop.

Penulis mengharapkan hasil penelitian ini dapat digunakan dan dikembangkan untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal bagi beban yang sangat membutuhkan daya suplai yang tidak boleh berhenti pengoperasiannya. Dengan adanya pengembangan komponen-komponen elektronika daya, diharapkan penelitian ini sebagai petunjuk dasar bagi pemakaian komponen-komponen terbaru, seperti pemakaian dioda diganti dengan MOSFET atau IGBT.

2. Metode Penelitian

Uninterruptable Power supply (UPS) yang akan dibuat adalah UPS dengan keluaran arus dan tegangan bolak-balik AC dengan bentuk gelombang persegi dengan kapasitas 500 Watt. Secara keseluruhan UPS yang akan dibuat digambarkan oleh blok diagram berikut ini (gambar 2.1).



Gb. 2.1. Diagram Blok UPS

Keterangan :

1. Rectifier dan switth otomatis (pengisi battery otomatis)
2. Battery (aki)
3. Switth otomatis dengan rele
4. Inverter
5. Switch otomatis dengan rele

Prinsip kerja dari UPS dibagi dalam dua kondisi, kondisi pertama saat supply 220 Volt dalam keadaan on dengan kata lain sumber dari PLN dalam keadaan hidup atau beroperasi. Pada kondisi ini switth otomatis 3 (*normally*

on switch) dalam keadaan off dan swith otomatis 5 berada pada posisi A. Pada kondisi ini daya yang dibutuhkan beban disuplai langsung dari sumber 220 Volt AC dan inverter tidak bekerja atau berfungsi. Rectifier (1) mengubah tegangan AC 220 menjadi tegangan DC 12 Volt, dimana tegangan 220 Volt AC tersebut diturunkan terlebih dahulu dengan menggunakan transformator step down 220/12 Volt. Setelah disearahkan dengan rectifier dihubungkan dengan swith otomatis yang berfungsi sebagai pengisi aki otomatis. Pada saat aki (battery) dalam keadaan kosong, aki akan diisi oleh pengisi aki otomatis dengan swith-nya dalam keadaan on. Aki (battery) berfungsi untuk menyimpan daya sementara. Apabila aki (battery) telah terisi penuh maka swith pada pengisi aki (battery) otomatis berpindah pada posisi off dan aliran daya dari supply ke aki terputus.

Kondisi kedua pada saat suplai 220 Volt dalam keadaan terputus (off). Pada kondisi ini secara otomatis rele pada swith 3 bekerja, swith 3 diperintahkan untuk berada pada kondisi terhubung (on) dan swith 5 berpindah dari posisi A ke posisi B. Sehingga pada kondisi ini daya yang telah disimpan pada aki (battery) dialirkan ke inverter (4). Inverter akan mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Inverter ini dilengkapi dengan transformator step-up 12 Volt/220Volt, sehingga keluaran dari inverter ini adalah tegangan AC 220 Volt. Daya yang dibutuhkan beban diambil dari daya yang disimpan pada aki (battery).

Untuk perancangan dan pembuatan Uninterruptable Power Supply (UPS) ini akan dibahas secara mendetail masing-masing blok diagram UPS tersebut pada sub bab berikut ini.

2.1 Kapasitas Aki dan Transformator

Aki (battery) yang digunakan mempunyai tegangan 12 Volt. Penghitungan kapasitas Ah (*Ampere-hour*) aki ditentukan oleh besarnya daya UPS yang akan dirancang. Pada penelitian ini, dirancang UPS 500 Watt pada tegangan 220 Volt. Daya ini diperoleh dari aki melalui inverter menggunakan transformator step-up 12Volt/220 Volt. Dengan daya 500 Watt, tegangan 220 Volt, didapat arus sebesar:

$$I = \frac{P}{V} = \frac{500 \text{ Watt}}{220 \text{ Volt}} = 2,273 \text{ Ampere} \quad (2-1)$$

Dengan arus sebesar 2,273 Ampere pada sisi 220 Volt maka arus pada sisi 12 volt dapat dicari dengan menggunakan rumus transformator ideal

$$V_{12 \text{ Volt}} \cdot I_{12 \text{ Volt}} = V_{220 \text{ Volt}} \cdot I_{220 \text{ Volt}} \quad (2-2)$$

Maka arus pada sisi 12 Volt

$$I_{12 \text{ Volt}} = \frac{V_{220 \text{ Volt}} \cdot I_{220 \text{ Volt}}}{V_{12 \text{ Volt}}}$$

$$I_{12\text{Volt}} = \frac{220 \text{ Volt } 2,273 \text{ Ampere}}{12 \text{ Volt}}$$

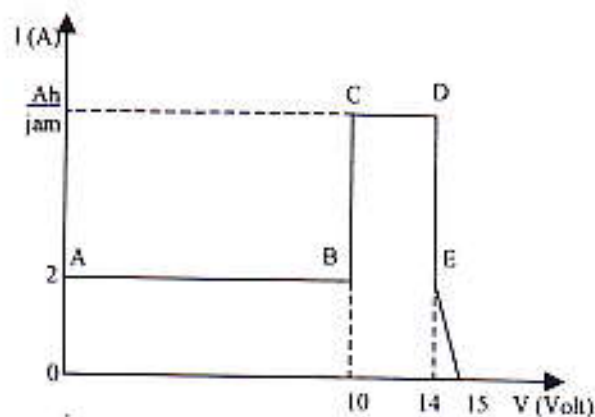
$$I_{12\text{Volt}} = 41,67 \text{ Ampere}$$

Tanpa memperhitungkan rugi-rugi transformator, arus pada sisi 12 Volt adalah 41,67 Ampere. Dengan mempertimbangkan rugi-rugi transformator, untuk mendapatkan daya 500 Watt digunakan transformator dengan rating 12Volt/220Volt dan kapasitas arus 50 Ampere atau 60 Ampere. Untuk dapat bekerja selama lebih kurang satu jam dengan mempertimbangkan rugi-rugi rangkaian dan rugi-rugi pada transformator maka untuk mendapatkan daya sebesar 500 Watt, tegangan kerja 220 Volt, dapat digunakan aki dengan rating 12 Volt – 60 Ah.

2.2 Pengisi Aki (Battery) Otomatis

Pengisi aki otomatis terdiri dari rectifier dan swich otomatis dengan pengendali rele. Pengisian kembali aki dianggap suatu hal yang mudah. Tetapi inilah justru masalahnya, sehingga aki mudah rusak dan karena itulah umur beberapa aki tidak perlu dicantumkan. Agar aki tahan lama maka diperlukan suatu pembatasan-pembatasan tertentu pada saat pengisian.

Gambar 2.2 berikut memperlihatkan karakteristik arus pengisian ideal untuk aki timbal (Pb) 12 Volt yang biasa kosong.



Gb 2.2 Besar arus dan lama waktu pengisian aki

Selama tahap pertama (A-B) digunakan sejumlah arus pengisian terbatas, sampai tegangan aki mencapai 10 Volt. Pembatasan terhadap arus pengisian ini perlu agar pengisi tidak mendapat beban penuh (disipasi yang berlebih). Untuk tahap berikutnya (C-D), aki diisi dengan arus pengisian penuh. Ukuran arus ini ditentukan dengan rumus berikut ini.

$$I_{isi} = \frac{\text{Kapasitas Aki (Ah)}}{\text{Waktu Pengisian (h)}} \quad (2-3)$$

Pada tahap C-D ini, arus pengisian diharapkan tidak melebihi 10 % dari nilai kapasitas aki (Ah). Pada akhir perioda ini aki sudah terisi sampai 14,4 Volt. Diharapkan pemakaian aki untuk UPS tidak sampai kosong, maka pengisi aki untuk UPS yang dirancang ini bekerja pada tahap (C-D). Aki yang digunakan adalah aki yang sudah diisi minimal 10 Volt dan jika aki sudah terisi sampai 14,4 Volt maka secara otomatis aki tidak diisi lagi. Seperti yang telah dibicarakan, penelitian ini menggunakan aki 12 Volt – 60 Ah. Untuk pengisian selama 12 jam, tegangan aki berada antara 10 Volt sampai 15,4 Volt (tahap C-D) dan arus pengisian diperoleh sebesar:

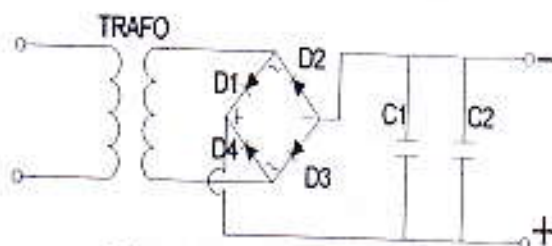
$$I_{isi} = \frac{\text{Kapasitas Aki(Ah)}}{\text{Waktu Pengisian(Jam)}} = \frac{60 \text{ Ah}}{12 \text{ Jam}} = 5 \text{ Ampere}$$

Arus pengisian 5 Ampere ini masih dalam batas normal karena masih di bawah 10% dari 60 Ah.

Pengisi aki otomatis yang dirancang ini pada dasarnya terdiri dari dua bagian, bagian pertama yaitu rangkaian penyearah (rectifier) dan bagian kedua rangkaian kendali rele pemutus. Rangkaian kendali rele pemutus ini berfungsi untuk mengatur atau mengendalikan apakah arus pengisian diputuskan atau disambungkan ke aki.

2.2.1 Penyearah (Rectifier)

Penyearah berfungsi untuk mengubah arus bolak-balik pada tegangan 220 Volt menjadi arus searah untuk pengisian aki pada tegangan 12 Volt. Untuk menurunkan tegangan menjadi 12 Volt, sebelum memasuki penyearah, tegangan 220 Volt diturunkan menjadi arus bolak-balik 12 Volt dengan menggunakan transformator step-down 220/12 Volt. Karena arus pengisian sebesar 5 Ampere maka rating transformator yang digunakan adalah transformator step-down 220/12 Volt – 5 ampere. Demikian juga halnya dengan dioda penyearah yang digunakan adalah dioda 5 Ampere. Rangkaian penyearah untuk pengisi aki ditunjukkan oleh gambar 2.3 berikut ini.



Gb 2.3 Rangkaian penyearah

Keterangan :

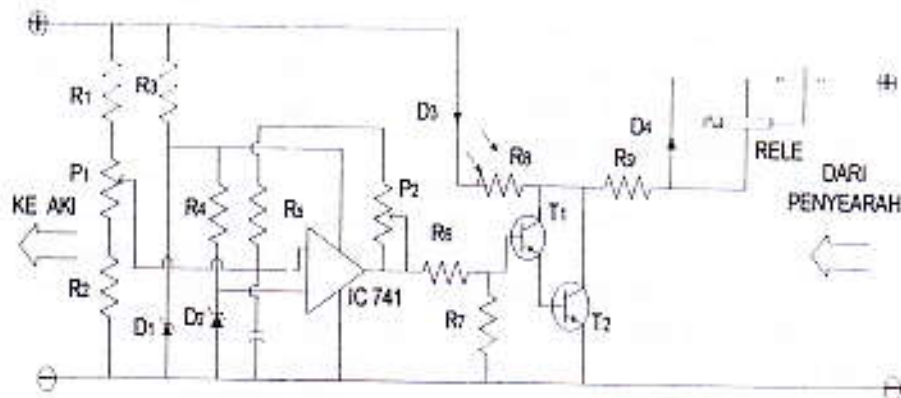
Transformator 220/12 Volt 5 Ampere

C1, C2 = 4700 μ F

D1, D2, D3 dan D4 = 5 Ampere

2.2.2 Rangkaian Kendali Rele Pemutus

Rangkaian kendali rele pemutus (gambar 2.4) memonitor keadaan yang terjadi pada aki. Bila aki telah terisi penuh, secara otomatis rangkaian ini akan memutus proses pengisian arus battery.



Gb 2.4 Rangkaian pengendali rele penutus

Kapasitas komponen-komponen penyusun rangkaian gambar 2.4:

$R_1, R_2, R_6 = 10 \text{ k}\Omega$	$D_1 = \text{Dioda Zener } 9,1 \text{ Volt } 1 \text{ Watt}$
$R_3 = 100 \Omega \text{ } 0,5 \text{ watt}$	$D_2 = \text{Dioda Zener } 6,2 \text{ Volt } 400 \text{ m Watt}$
$R_4 = 3,3 \text{ k}\Omega$	$D_3 = \text{LED}$
$R_5 = 33 \text{ k}\Omega$	$D_4 = \text{DUS}$
$R_7 = 470 \Omega$	$P_1 = \text{Potensio } 10 \text{ k}\Omega$
$R_8 = 560 \Omega$	$P_2 = \text{Potensio } 25 \text{ k}\Omega$
$R_9 = 220 \Omega$	$T_1 = \text{BC } 147$
$T_2 = \text{BC } 140$	$\text{IC1} = \text{IC } 741$
Rele = 12 Volt, 3 Ampere	

Pada dasarnya rangkaian gambar 2.4 mempunyai suatu pembanding (*comparator*) yang akan membandingkan tegangan aki terhadap tegangan referensi yang berasal dari penyearah. Jika tegangan aki melebihi batas maksimum pengisian 14,4 Volt, rele akan aktif dan menghentikan arus pengisian. Sebaliknya, apabila tegangan aki turun di bawah tegangan ambang minimum 9,9 Volt, rele akan lepas dan kembali terjadi pengisian arus aki. Sebagai pembanding tegangan penyearah dengan tegangan aki digunakan Op-Amp (*Operating Amplifier*) IC 741. Tegangan catu penguat operasional IC 741 distabilkan oleh R_3 dan D_1 , dan tidak dipengaruhi oleh perubahan tegangan aki. Tegangan referensi yang diberikan pada pemasukan pembalik penguat operasi (kaki 2 IC 741) diturunkan dari catu yang distabilkan melalui R_4 dan D_2 . Tegangan transformator dibandingkan dengan suatu bagian tegangan aki yang diambil dari pembagian tegangan R_2 dan P_1 dengan R_1 . Tegangan acuan tersebut secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\text{Tegangan acuan} = \frac{R_2 + \text{Persentase } P_1}{R_2 + R_1 + P_1} \quad (2-4)$$

Bersamaan dengan naiknya tegangan aki, maka tegangan acuan (referensi) akan naik juga. Naiknya tegangan acuan pada masukan pembalik pada penguat operasi (kaki 2 IC 741) sampai pada titik tertentu (ditentukan dengan penyetelan potensio P_1) keluaran penguat operasional ini akan besar dan akan menyebabkan transistor T_1 dan T_2 menjadi on. Dengan on-nya

transistor T_1 dan T_2 akan mengaktifkan kontak rele (Normally On) dan akan memutuskan arus pengisian ke aki. Dan apabila tegangan pada aki telah turun sampai 9,9 volt maka tegangan referensi juga akan turun sampai pada titik tertentu. Turunnya tegangan acuan ini akan menyebabkan keluaran dari penguat operasional juga turun. Penguatan keluaran penguat operasional diatur dengan menyetel P_2 . Sehingga pada saat tegangan referensi turun sampai pada titik tertentu untuk tegangan aki 9,9 volt keluaran dari penguat operasional ini diharapkan tidak akan menyebabkan T_1 dan T_2 on. Pada saat ini arus yang mengalir ke rele juga terputus dan kontak (normally on) tidak aktif dan arus pengisian akan mengalir dari penyearah ke aki. Demikian juga sebaliknya bila tegangan aki maksimum 14,4 maka tegangan referensi akan naik sampai pada titik tertentu dan penguatan diatur dengan penyetelan P_2 sehingga akan menyebabkan T_1 dan T_2 on.

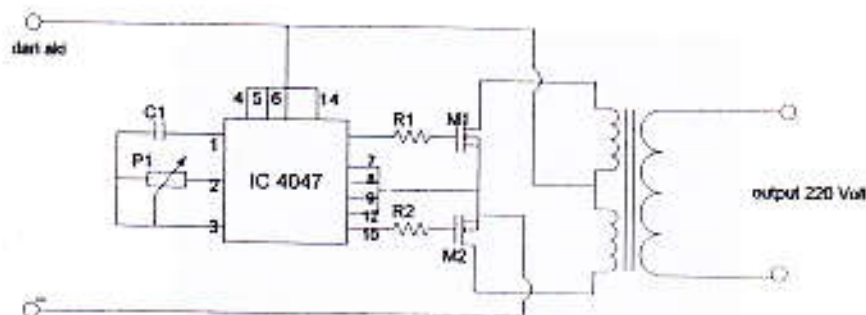
2.3 Switch Otomatis dengan Rele

Switch otomatis dirancang mempunyai 2 switch. Yang pertama adalah switch normally-on NO, dimana switch ini akan terbuka apabila dalam keadaan normal. Maksud keadaan normal disini yaitu pada saat tegangan suplai 220 Volt beroperasi. Switch ini berfungsi untuk memutuskan aliran daya dari aki ke inverter. Hal ini sangat perlu karena pada saat tegangan suplai 220 volt bekerja, UPS tidak menyuplai daya ke beban, daya yang tersimpan pada aki tidak disalurkan ke beban dan inverter pada kondisi ini diharapkan tidak bekerja atau beroperasi, maka aliran daya dari aki diputuskan sebelum disalurkan ke inverter. Dan pada saat suplai tegangan 220 volt dalam keadaan off maka UPS akan menyuplai daya ke beban. Daya yang di suplai berasal dari aki yang diubah menjadi arus bolak balik oleh inverter. Pada saat ini switch ini dirancang secara otomatis menghubungkan aki dengan inverter sehingga dapat diharapkan aliran daya dari aki ke beban dapat disalurkan.

Switch yang kedua adalah switch untuk pengaturan pengaliran daya. Pada saat suplai tegangan 220 volt hidup switch diharapkan dapat mengalirkan daya dari jaringan 220 Volt ke beban dan yang lebih penting lagi adalah memutuskan koneksi antara UPS dengan beban. Bila pada kondisi ini UPS juga tersambung ke beban, sedangkan pada kondisi ini inverter pada UPS tidak beroperasi maka inverter akan mendapatkan tegangan balik pada sisi 12 Volt transformator yang diambil transformator dari tegangan 220 Volt pada jaringan listrik dan ini akan menyebabkan kerusakan pada peralatan terutama inverter. Pada saat suplai tegangan 220 volt dari jaringan tidak bekerja diharapkan switch menghubungkan inverter dengan beban dan melepaskan beban dari jaringan. Bila UPS dihubungkan dengan beban dan jaringan juga dihubungkan dengan beban maka daya dari UPS juga akan diserap oleh beban lain yang juga terhubung ke jaringan.

2.4 Inverter

Inverter yang dirancang adalah inverter sederhana yang menghasilkan gelombang persegi. Tegangan masukan inverter ini 12 Volt yang berasal dari aki dan diharapkan tegangan outputnya 220 Volt. Rancangan inverter ditunjukkan pada gambar 2.5 berikut:



Gambar 2.5 Rangkaian Inverter

keterangan:

IC = IC CMOS 4047

$C_1 = 400 \text{ nF}$

$P_1 = 200 \text{ k}\Omega$

$R_1 = 470 \Omega$

$R_2 = 470 \Omega$

Transformator CT 220/12Volt,50 Ampere

M1, M2 : MOSFET BUZ 330

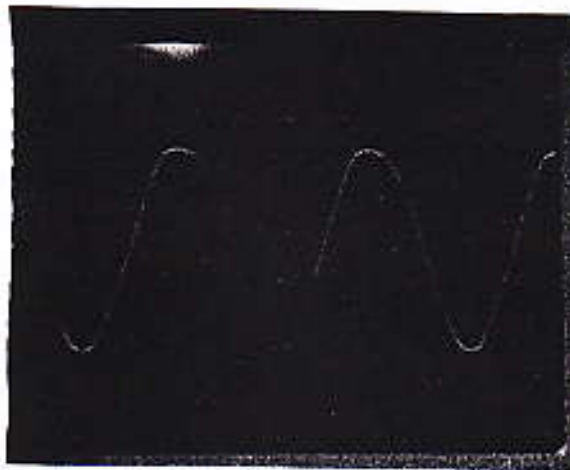
IC CMOS 4047 adalah pembangkit gelombang persegi dengan komplemennya. Jika pada kaki sebelas IC menghasilkan gelombang persegi tanpa waktu tunda, maka pada kaki sepuluh akan dihasilkan komplemennya yaitu gelombang persegi dengan waktu tunda sebesar 180° atau setengah perioda. Ke dua gelombang persegi ini melalui MOSFET M1 dan M2 dan ke dua MOSFET ini berfungsi sebagai switch secara bergantian.

Bila pada kaki sebelas IC 4047 menghasilkan pulsa maka M1 akan switch on dan arus dari aki akan mengalir pada bagian atas transformator CT sisi 12 Volt dan tegangan keluaran pada sisi sekunder adalah tegangan positif 220 Volt. Pada saat tersebut, M2 dalam keadaan off karena kaki 10 IC 4040 tidak menghasilkan pulsa.

Setengah perioda selanjutnya, kaki sebelas IC 4044 tidak menghasilkan pulsa dan kaki sepuluh IC ini menghasilkan pulsa dan menyebabkan mosfet M2 dalam keadaan on dan M1 dalam keadaan off. Maka arus mengalir pada bagian bawah transformator CT sisi 12 Volt dan tegangan keluaran pada sisi 220 Volt adalah tegangan negatif 220 Volt. Tegangan keluaran dari inverter ini adalah tegangan bolak balik 220 Volt dalam bentuk gelombang persegi dengan frekuensi 50 Hz.

3. Hasil dan Pembahasan

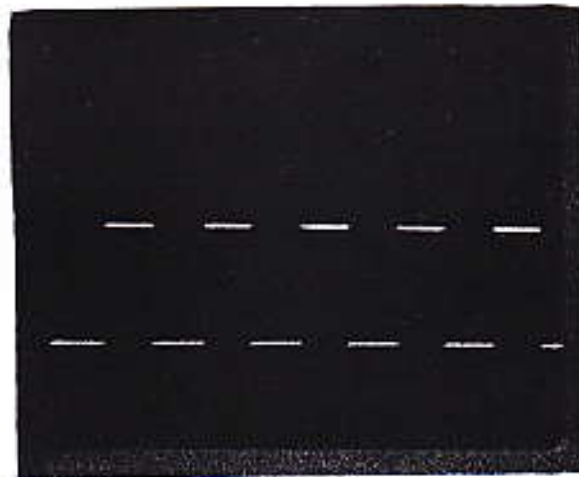
Tipe-tipe bentuk gelombang sistem UPS On-Line kontiniu tergantung pada tipe beban yang akan digunakan. Tidak selamanya daya AC kontiniu selama suplai ke komputer diperhatikan. Suplai nyala dan padam (on dan off) 120 kali per detik. Setiap titik nol tegangan pada gelombang sinus AC, suplai menurun, sehingga tidak ada energi yang diberikan dari saluran AC. Kenyataannya, *dead band* ini bisa 2-4 ms dimana waktu suplai komputer melepaskan muatan dan tidak mengisi muatan oleh tegangan saluran AC normal. Pengisian muatan terjadi pada puncak tegangan AC. Sistem mengalami gangguan (uninterruptible) bila tegangan AC normal gagal atau melemah, sehingga diperlukan sumber energi alternatif untuk mempertahankan komputer bekerja lama. Sistem daya darurat on-line dapat mentransfer daya dari off ke on pada 1 sampai 4 miliseconds.



Gambar 3.1 Bentuk gelombang sinus dari suplai 220 Volt

UPS mempunyai dua faktor yang sangat penting yaitu daya maksimum dan waktu operasi. UPS 500 Watt dapat bekerja pada beban di bawah 500 Watt, misalnya komputer. Waktu operasi UPS akan lebih lama bila kapasitas daya maksimum yang dimiliki lebih besar.

Motor-motor penggerak pada disk komputer adalah penggerak DC dan menggunakan teknik *Phase Locked Loop (PLL)* untuk mempertahankan frekuensi dan kecepatan dan karenanya tidak memerlukan gelombang sinus. Persyaratan untuk bentuk gelombang dan toleransi banyak berbeda, jika menjalankan sistem UPS On-Line Kontiniu selama 8 – 24 jam per hari mengatasi 2-10 menit kondisi emergensi untuk menghindari kerusakan sistem yang disebabkan oleh kesalahan daya sesaat. Dengan menggunakan gelombang persegi sebagai output sistem UPS, sistem UPS dapat mamback-up daya ke beban bila daya dari suplai terganggu.



Gambar 3.2 Gelombang persegi yang dihasilkan sistem UPS 500 Watt

4. Kesimpulan

Penelitian ini telah menghasilkan UPS On-Line dengan gelombang persegi sebagai gelombang bolak-balik. Gelombang ini dapat digunakan pada beban yang umumnya menggunakan motor-motor DC sebagai penggerak utamanya, seperti

komputer dan fan. Untuk pengembangan selanjutnya, sistem UPS Off-Line Standby dengan gelombang persegi atau gelombang sinus dapat dicoba dari hasil penelitian ini.

5. Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Pak Refdinal Nazir sebagai pembimbing pada penelitian ini, juga kepada Peri Ferdinal sebagai asisten di Lab. Konversi Energi Elektrik yang membantu merangkai dan menguji Uninterruptible Power Supply. Tak lupa ucapan terima kasih kami kepada Lembaga Penelitian Universitas Andalas yang telah membiayai penelitian ini melalui dana SPP/DPP kontrak no. 59/LP-UA/SPP-DPP/KV/2001.

6. Daftar Pustaka

- [1]. Berde, M.S, 1984, Thyristor Engineering, Khanna Publishers
- [2]. Rashid, Muhammad Harunnur, 1993, Power Electronics, New Jersey; Prentice Hall
- [3]. Kerchner, Jr., P.E., Charles F, 13 May 1996, UPS-Uninterruptible Power System, <http://www.kalqlo.com/kalhompq.htm>.
- [4]. Millman, Jacob, 1993, Elektronika Terpadu, Jakarta, Erlangga
- [5]. Coughlin, Robert F, 1985, Penguat Operasional dan Rangkaian Terpadu Linear, Jakarta; Erlangga
- [6]. Newman, Martin, Industrial Electronics and Control, New York; John Wiley and Sons
- [7]. Elektuur, 1995, 301 Rangkaian Elektronika, Jakarta; PT. Elex Media Komputindo