RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU (ANGIN) UNTUK SISTEM PENERANGAN RUMAH TINGGAL

(Sub Judul : Vertical Windmill, Battery Charger, Inverter)

Bambang Irawan [1], Ir.Joke Pratilartiarso, MT.[2]
[1] Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro Industri, [2] Dosen PENS-ITS
Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
Kampus ITS Sukolilo Surabaya 60111
Telp (+62) 031-59447280 .Fax (+62) 031-5946114
e-mail: winny.soraya@yahoo.com

Abstrak - Kebutuhan energi listrik untuk rumah tinggal terus meningkat dan masih sedikitnya jaringan yang ada menyebabkan harga energi listrik menjadi mahal dan sulit dijangkau masyarakat di daerah terpencil. Maka perlu diupayakan untuk mendapatkan energi alternatif untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Proyek Akhir ini memanfaatkan energi angin sebagai sumber utama yang akan dikonversi menjadi sumber energi listrik untuk penerangan rumah tinggal. Kincir angin vertical digunakan sebagai penggerak generator DC untuk membangkitkan tegangan 6 Vdc hingga 35 Vdc. Tegangan keluaran generator DC diatur oleh Buck Converter dan Boost Converter agar tegangan output yang dihasilkan antara 13,6 Vdc hingga 14,7 Vdc yang akan digunakan sebagai tegangan input untuk pengisian Akumulator (storage energi). Daya dari Akumulator akan dikonversi menggunakan Inverter menjadi tegangan 220 AC 10 Watt untuk sistem penerangan rumah tinggal.

Hasil dari sistem ini mampu melakukan pengisian aki dengan arus sebesar 0,375 A pada tegangan 13 volt hingga 2,5 A pada tegangan 14,5 volt sebelum menggunakan DC-DC Converter. Dari hasil pengisian aki tersebut mampu digunakan untuk menyalakan lampu AC 220 volt 10 watt selama 12 jam dalam kondisi aki maksimal.

Kata Kunci : Kincir Angin Vertikal, Buck Konverter, Boost konverter, Battery Charger, Inverter.

1.1 PENDAHULUAN

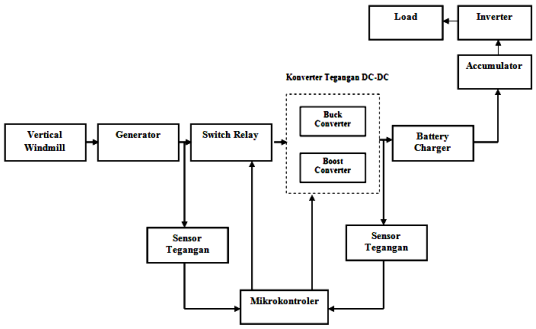
Dengan semakin berkembangnya teknologi di dunia, kebutuhan energi di dunia juga ikut meningkat. Kenaikan kebutuhan energi tersebut akan terus meningkat seiring kenaikan angka pertumbuhan penduduk di dunia. Sebagian besar energi yang dikonsumsi merupakan energi fosil yang tidak dapat diperbaharui (*irenewable resources*). Ketersediaan energi fosil sebagai sumber energi utama sangat terbatas dan terus mengalami ancaman kelangkaan kerena penggunaan energi tersebut dalam skala besar dan secara terus menerus. Perlu adanya sumber energi alternatif baru yang dapat diperbaharui (*renewable resources*) untuk menggantikan sumber energi fosil. Selain itu angka polusi yang diakibatkan dari pembangkitan energi bahan bakar fosil tersebut sangat besar.

Salah satu energi terbarukan yang berkembang pesat di dunia saat ini adalah energi angin. Energi angin merupakan energi terbarukan yang sangat fleksibel. Energi angin dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan misalnya pemompaan air untuk irigasi, pembangkit listrik, pengering hasil panen dan lain-lain. Selain itu, pemanfaatan energi angin dapat dilakukan di mana-mana, baik di daerah landai maupun dataran tinggi, bahkan dapat di terapkan di laut. Dari beberapa potensi energi angin tersebut, maka didesain suatu pembangkit listrik tenaga bayu (angin) untuk sistem penerangan rumah tinggal.

2.1 PERENCANAAN SISTEM

2.1 KONFIGURASI SISTEM

Blok diagram secara keseluruhan dari sistem ditunjukkan pada Gambar 3.1. dimana kincir angin yang dikopel dengan generator DC akan berputar terkena hembusan angin sehingga generator juga ikut berputar dan menghasilkan tegangan. Sebelum tegangan keluaran dari generator DC masuk ke dalam battery terlebih dulu diatur didalam rangkaian DC-DC Converter dan Battery Charger agar tegangan pengisian battery konstan dan stabil.



Gambar 2.1 Blok Diagram sistem pembangki listrik tenaga Angin

2.2 VERTICAL WINDMILL

Prinsip dasar kerja dari turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada kincir, lalu putaran kincir digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik. Besar energi

listrik yang dihasilkan sangat bergantung pada besar kecepatan angin yang ada di sekitar kincir tersebut.

Berdasarkan persamaan :

$$P = \frac{16}{27} \cdot \frac{1}{2} \rho A V^3 \text{ [watt]}$$

maka dapat ditentukan luas dari sudu yang direncanakan dengan kerapatan udara sebesar 1,1726 kg/m^3 dan kecepatan angin rata-rata 4,7 m/s untuk menghasilkan daya sebesar 50 watt.

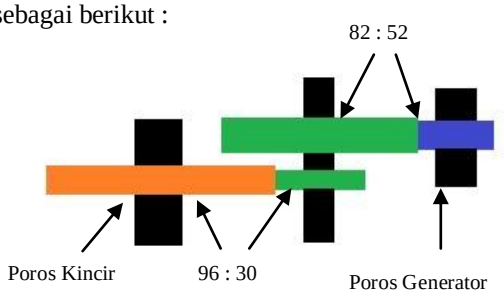
$$P = \frac{1}{2} \cdot \frac{16}{27} \cdot \rho\, A\, V^3$$

$$50 = \frac{1}{2}\ x\ \frac{16}{27}\ x\ 1{,}1726\ x\ A\ x\ 4{,}7^3$$

$$50 = 36{,}096\ A$$

$$A = \frac{50}{36{,}096} = 1{,}385\ m^2$$

Roda gigi yang digunakan sebanyak 3 bagian dan dipilih dengan perbandingan yang lebih besar dari roda gigi pada generator dengan perbandingan sebagai berikut :



Perbandingan roda gigi ini dimaksudkan agar torsi yang dihasilkan kincir angin lebih besar daripada torsi generator sehingga putaran generator menjadi lebih cepat.

2.3 GENERATOR DC

Dalam sistem ini generator yang digunakan adalah generator DC magnet permanen 18 Volt 3,20 A dengan kecepatan maksimum 375 rpm dan mempunyai tegangan keluaran maksimum 35 volt (tanpa Beban) dan 13,5 Volt (dengan Beban Aki 12 Volt 10 Ah).

Gambar 2.3 Generator DC 18 Volt 3,20 A

Dengan spesifikasi Generator DC sebagai berikut :

Tabel 3.1 Data Spesifikasi Generator DC

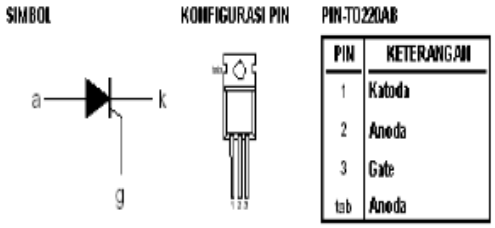
DC Motor	
18 Volt	3,20 A
Part 7-22303800	
Model 3330D-91	
Assembled in Mexil	
By Magnete	

2.4 SISTEM KONTROL BATTERY CHARGER

Dalam sistem ini menggunakan beberapa komponen untuk mengatur pengisian battery pada rangkaian sistem pengisian battery charger, yaitu SCR BT151-500R.

- ***Phase-Control Thyristor* SCR BT 151-500R (*Silicon-Controlled Rectifier*)**

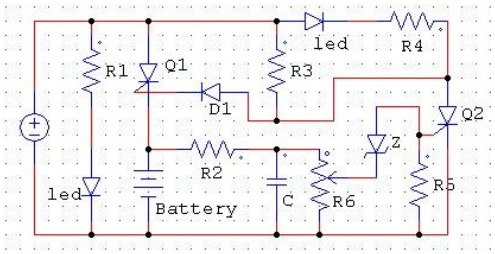
SCR BT 151-500R produksi Phillips Semiconductor merupakan komponen utama yang nantinya akan digunakan dalam rangkaian komutasi thyristor. Bentuk dan konfigurasi pin dari SCR BT 151-500R ini dapat dilihat dari gambar 3.5 dibawah ini.



Gambar 2.4 Konfigurasi SCR BT 151-500R

Battery Charger adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengisi battery dengan arus konstan atau bervariasi hingga mencapai tegangan yang ditentukan. Bila level tegangan yang ditentukan itu telah tercapai, maka arus pengisian akan turun secara otomatis sesuai dengan setting arus dan menahan arus pengisian hingga menjadi lebih lambat sehingga indikator menyala menandakan battery telah terisi penuh.

Rangkaian battery charger yang digunakan dalam proyek akhir ini ditunjukkan pada Gambar 3.7 berikut ini :



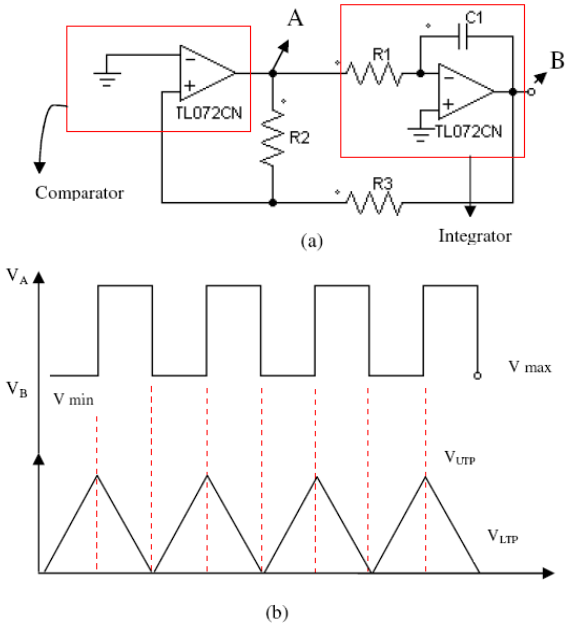
Gambar 2.5 Rangkaian Dasar Battery Charger

2.5 INVERTER SATU FASA

Pada rangkaian inverter satu fasa ini menggunakan rangkaian pembangkit segitiga untuk menghasilkan sinyal PWM yang digunakan sebagai trigger kedua mosfet.

- **Rangkaian Pembangkit Sinyal Segitiga**

Rangkaian pembangkit gelombang segitiga yang digunakan adalah rangkaian cascade, terdiri dari 2 buah op amp sebagai comparator dan integrator.



Gambar 2.6 (a) Rangkaian Dasar Pembangkit Gelombang Sigitiga (b) Output Pembangkit Gelombang Segitiga

$$V_{UTP} = \left(\frac{R_3}{R_2}\right) \times (V_{cc} - 1)$$

$$V_{LTP} = \left(\frac{R_3}{R_2}\right) \times (-V_{cc} + 1)$$

$$f = \frac{R_2}{4R_1R_3C}$$

Gelombang keluaran dari summing amplifier pada kenyataannya dikuatkan dengan op amp terlebih dahulu sebelum dibandingkan dengan gelombang segitiga karena magnitudenya kecil. Pada Gambar 3.16, Nilai R3 harus lebih kecil dari nilai R2. Amplitudo atau magnitude dari gelombang segitiga bergantung pada rasio dari R3 dan R2. Agar lebih mudah dalam pengaturan magnitude, maka dipasang potensio yang diseri dengan R2. Maka rasio amplitude menjadi :

$$\frac{R3}{R2 + R_amp}$$

Frekuensi gelombang segitiga ditentukan oleh nilai R1 dan nilai kapasitor. Untuk mempermudah dalam pengaturan nilai frekuensi, maka dibutuhkan potensio yang dipasang seri dengan R1.

$$\frac{V_{THR}}{(R1 + R_frek).C1} = 2 \,.\, f \,.\, (V_R^+ - V_R^-)$$

V_R merupakan nilai peak dari gelombang segitiga, sedangkan V_{THR} adalah tegangan threshold detector yang merupakan tegangan saturasi rata-rata.

$$V_{THR} = \frac{(V^{sat+} - V^{sat-})}{2}$$

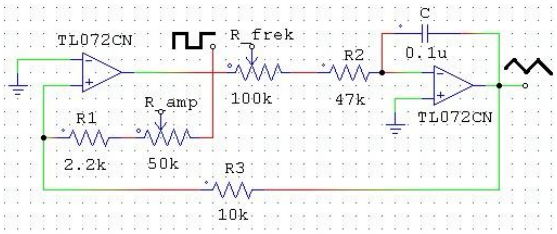
Dari kedua persamaan diatas dapat diketahui secara jelas bahwa C1 berbanding terbalik dengan R1+R_frek. Agar R1 tidak memiliki nilai yang besar, maka nilai kapasitor dipilih dengan nilai yang besar, oleh karena itu dipilih kapasitor dengan nilai 0.1uF.

$$f = \frac{R2}{4R1R3C}$$

$$100 = \frac{50k + 2{,}2k}{4R1x10kx0{,}1u}$$

$$52{,}2k = 400R1x0{,}001$$
$$52{,}2k = 0{,}4\,R1$$
$$R1 = \frac{52{,}2k}{0{,}4} = 130{,}5\ k\Omega$$

Nilai frekuensi dari perhitungan di atas dapat didapat jika tuning pada potensio dalam kondisi maksimal. Dalam proyek akhir ini, untuk switching inverter satu fasa frekuensi switching yang dibutuhkan adalah 0.1 kHz.



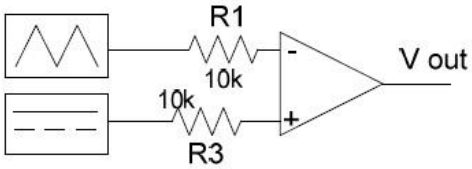
Gambar 2.7 Rangkaian Pembangkit Segitiga

Tabel 3.2 Komponen Pembangkit Segitiga

No	Komponen	Jumlah
1	IC TL 072 CN	1
2	Resistor, capacitor, potensio	

- **Rangkaian Comparator**

Rangkaian comparator ini berfungsi sebagai PWM yaitu untuk membandingkan gelombang keluaran dari summing amplifier sebagai referensi PWM dengan gelombang dari pembangkit segitiga. Rangkaian comparator ini menggunakan Op Amp dengan IC TL072CN. Keluaran dari segitiga selanjutnya akan menjadi masukan optocoupler.



Gambar 2.8 Rangkaian Comparator

Tabel 3.3 Komponen Pembangkit Segitiga

No	Komponen	Jumlah
1	IC TL 072 CN	1
2	Resistor 10k	2

- **Rangkaian Inverter Satu Fasa**

Pada rangkaian inverter satu fasa ini menggunakan dua buah mosfet IRFP460 untuk switching sehingga menghasilkan sinyal tegangan yang mengandung fase positif dan fase negative. Karena ada perubahan kondisi sinyal tegangan positif dan negative maka akan terjadi perubahan fluks pada transformator. Sehingga timbul medan magnet dan terinduksi ke sisi sekunder.

$$Pout = 10\ watt$$

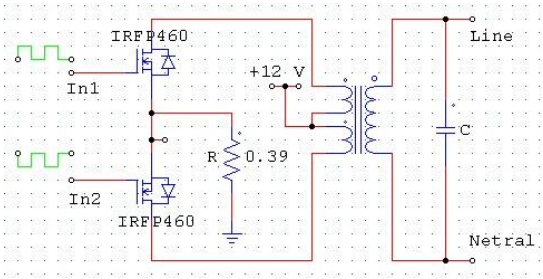
$$Vout = 220\ volt$$

$$\eta = \frac{Pout}{Pin}\ x\ 100\ \%$$

Jika efisiensi inverter diasumsikan sebesar 80 %, maka :

$$Iin = \frac{10}{12}\ x\ 80\ \% = 0{,}6\ A$$

Sehingga arus input inverter sebesar 0,6 A dengan tegangan input 12 volt DC untuk mendapatkan tegangan output 220 volt AC dengan daya 10 watt.



Gambar 2.9 Rangkaian Inverter Satu Fasa

3.1 PENGUJIAN DAN ANALISA SISTEM

Pengujian terhadap rangkaian yang telah dibuat dilakukan setelah semua rangkaian disusun secara keseluruhan berdasarkan perencanaan. Pengujian dimaksudkan untuk mendapatkan evaluasi terhadap rangkaian, agar diperoleh kinerja yang lebih baik. Kinerja yang lebih baik didapatkan dengan melakukan perbaikan terhadap komposisi rangkaian yang mengalami kekeliruan yang diketahui saat melakukan pengujian. Metode pengujian dari proyek akhir ini, dilakukan pada masing-masing blok dari sistem. Pengujian dilakukan pertama kali untuk mendapatkan data tegangan keluaran generator DC.

Setelah mendapatkan data rata-rata tegangan keluaran generator DC, metode selanjutnya adalah pengujian DC-DC Converter (*Buck Converter dan Boost Converter*) dimana tegangan input Converter disimulasikan menggunakan DC *Power Supply* dan pengambilan datanya menggunakan refrensi data tegangan yang telah didapatkan dari Generator DC. Dari DC-DC Converter akan menghasilkan tegangan DC konstan untuk proses pengisian Aki (*Charging*). Dengan adanya pengisian Aki secara terus menerus maka akan didapatkan energi kontinyu (pada Aki) dimana energi tersebut selanjutnya akan dikonversi menjadi tegangan AC dengan pengujian Inverter. Tegangan keluaran dari Inverter akan digunakan untuk menyalakan lampu penerangan rumah tinggal.

3.1 Pengujian Vout Generator DC

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tegangan generator DC yang telah diintegrasikan dengan kincir angin vertikal. Pengujian ini dilaksanakan dalam beberapa waktu dengan menggunakan alat ukur voltmeter dan ampermeter. Dalam sistem ini generator yang digunakan adalah generator DC magnet permanen. Melalui pengukuran didapatkan data sebagai berikut :

Tabel 4.1 Pengukuran Generator tanpa Beban

Pengukuran tanpa Beban		
V_{min}	**V_{avg}**	**V_{max}**
6 Volt	18 Volt	35 Volt

Tabel 4.2 Pengukuran Generator dengan Beban

Pengukuran Beban Aki 12 Volt 10 Ah			
V_{charge}	**I_{min}**	**I_{avg}**	**I_{max}**
13,5 Volt	0,2 A	0,75 A	1,75 A

Pengukuran generator juga dilakukan untuk mengetahui besar tegangan dan arus keluaran pada kecepatan putaran tertentu *(rpm)* seperti pada Tabel 4.3. Sehingga dapat diketahui parameter-parameter untuk membuat desain *DC-DC Converter.*

Tabel 4.3 Pengaruh kecepatan terhadap besar tegangan dan arus keluaran

Kecepatan (rpm)	**Vout (V)**	**Iout (A)**
100	4,5	0
200	8,5	0
300	12,2	0
350	13,0	0,375
400	13,2	0,7
450	13,5	1,2
500	13,7	1,675
550	14,2	2,2
600	14,5	2,75

Dari data pengukuran di atas, terjadi arus pengisian sebesar 0,375 saat tegangan diatas nilai tegangan aki yaitu sebesar 13 volt pada kecepatan 350 rpm. Sehingga pada desain *DC-DC Converter* tegangan keluarannya harus diatas tegangan aki atau sekitar 13 volt. Sedangkan tegangan *output* generator mencapai 35 Volt (V_{max}) . Dengan tegangan pengisian aki sebesar 13,5 Volt (V_{charge}) dan arus pengisian antara 0,2 A hingga 1,75 A. Berikut ini hasil pengambilan data tegangan *output* dan arus *output* dari kincir angin selama beberapa jam :

Tabel 4.4 Data Vout dan Iout dari Kincir Angin

Jam	**V_{out}**	**I_{out}**
12.00	12,6 V	0,2 A
12.15	12,6 V	0,3 A
12.30	13,0 V	0,75 A
12.45	12,7 V	0,2 A
13.00	13,1 V	0,85 A
13.15	12,5 V	0,1 A
13.30	12,7 V	0,2 A
13.45	13,0 V	0,65 A
14.00	12,6 V	0,2 A
14.15	12,8 V	0,3 A
14.30	12,8 V	0,3 A
14.45	13,1 V	0,85 A
15.00	12,6 V	0,1 A
15.15	13,1 V	0,7 A
15.30	10 V	0 A
15.45	12,6 V	0,1 A
16.00	11,5 V	0 A
16.15	12,8 V	0,25 A
16.30	12,6 V	0,2 A

Pengambilan data dilakukan pada jam 12.00 hingga 16.30 dengan kondisi kecepatan angin yang berubah-ubah secara signifikan. Sehingga tegangan dan arus yang terukur berubah-ubah mengikuti kecepatan angin yang ada di sekitarnya. Dimana tegangan rata-rata yang terukur sebesar 12,85 volt dan arus rata-rata yang terukur sebesar 0,4 A.

3.2 Pengujian Battery Charger

Pada pengujian pada charger battery dilakukan dengan menggunakan power supply DC untuk mengatur tegangan input yang variabel. Rangkaian battery charger dapat dilihat pada Gambar 4.1 dibawah ini.

Gambar 4.1 Rangkaian Battery Charger

Pengujian rangkaian battery chager dilakukan dengan menggunakan input tegangan dari power supply dengan nilai yang variabel mulai dari 10 Volt hingga 16 Volt dan hasil

pengujiannya dapat dilihat pada Table 4.3. Input battery charger nantinya akan didapatkan dari DC-DC Converter.

Tabel 4.3. Battery Charger tanpa Beban

Tegangan Input (V)	Tegangan Output (V)
10	9,08
11	10,08
12	11,08
13	12,07
14	13,12
15	14,07
16	**15,11**

Data Tabel 4.3. tersebut didapatkan setelah melakukan pengujian rangkaian Battery Charger tanpa beban. Pada rangkaian tersebut terdapat drop tegangan sehingga efisiensi dari rangkaian battery charger ini kurang dari 100 %.

Selanjutnya pengujian dilakukan dengan menggunakan beban Aki 12 Volt 10 Ah dengan arus pengisian yang variabel mulai dari 0,5 A hingga 2,5 A untuk mengetahui berapa tegangan pengisian agar didapatkan arus pengisian sebesar 1 A. hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.4 dibawah ini :

Tabel 4.4. Battery Charger beban Aki 12V 10Ah

Arus Output (A)	Tegangan Input (V)	Tegangan Output (V)
0,5	14,60	12,96
1	**15,00**	**13,01**
1,5	15,50	13,55
2	15,70	13,76
2,5	16,10	14,00

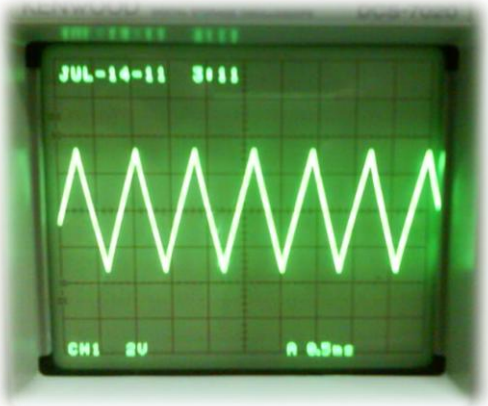
Dari data Tabel 4.4 tersebut didapatkan setelah melakukan pengujian rangkaian Battery Charger dengan beban Aki 12 Volt 10 Ah. Dimana Aki dalam kondisi tegangan rendah (low voltage) yaitu 11,9 Volt. Pengisian Aki dilakukan dengan arus pengisian sebesar 10% dari kapasitas arus Aki tersebut.

$$I_{Charge} = 10\ \%\ x\ Ah$$
$$I_{Charge} = 10\ \%\ x\ 10\ Ah$$
$$I_{Charge} = 1\ Ampere$$

3.3 Pengujian Pembangkit Sinyal Segitiga

Pada pembangkit sinyal segitiga ini menggunakan Op-Amp TL072CN sebagai comparator dan integrator. Dimana output dari Op-Amp comparator berupa sinyal kotak (*square wave*) sedangkan output dari Op-Amp integrator adalah sinyal segitiga (*triangle wave*).

Gambar 4.3 Pembangkit Sinyal Segitiga

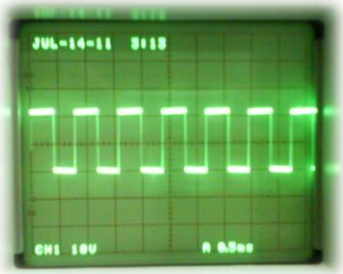


Gambar 4.4 Gelombang Segitiga (Volt/div= 2V ; Time/div = 0,5 A

3.3 Pengujian Comparator

Pada rangkaian comparator ini befungsi sebagai PWM yang akan digunakan untuk trigger mosfet. Rangkaian ini membandingkan antara sinyal DC yang sebagai refrensi dengan sinyal segitiga dan menghasilkan sinyal kotak atau PWM yang dapat diatur duty cycle-nya.

Gambar 4.5 Rangkaian Comparator



Gambar 4.6 Gelombang PWM

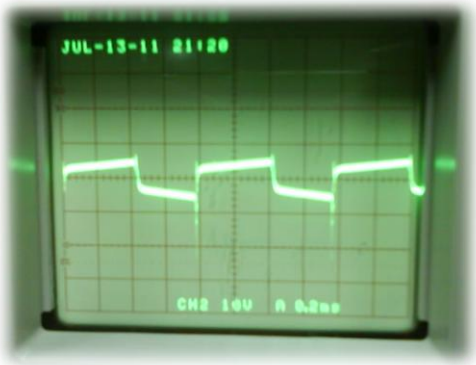
3.4 Pengujian Inverter

Pada pengujian inverter ini dilakukan dengan memberikan input tegangan 12 Volt DC pada Vcc dan ground. Switching tegangan dilakukan dengan menggunakan mosfet IRFP460 dimana *Drain* kedua mosfet dihubungkan dengan 12 Volt Transformator simetri dan *Source* kedua mosfet dihubungkan dengan resistpr sebelum ke ground. Untuk rangkaian secara lengkapnya dapat dilihat pada Gambar 4.3 berikut :

Gambar 4.9 Rangkaian Inverter Satu Fasa

Rangkaian inverter ini menggunakan dua buah mosfet IRFP460 untuk mendapatkan nilai tegangan positif dan negative pada input tegangan 12 Volt transformator sehingga terdapat perubahan fluks dan terjadi aliran medan pada sisi primer transformator.

Dengan demikian pada sisi sekunder akan terjadi induksi medan dan menghasilkan tegangan keluaran AC. Tegangan keluar transformator adalah sinyal kotak AC dan diberi filter C agar sinyal keluarannya menjadi sinus murni. Gelombang output inverter dapat dilihat pada Gambar 4.4 berikut :



Gambar 4.10 Gelombang Output Inverter (Volt/div = 10 V ; Time/div = 0,2 ms)

Gelombang output dari inverter tersebut belum sinus murni karena masih terdapat tegangan spike yang besar sehingga tegangan keluaran inverter tidak mencapai 220 Volt AC.

3.5 Analisa

Hasil pengujian diatas dilakukan untuk masing-masing rangkaian tersebut dan belum dilakukan pengujian secara keseluruhan (uji *integrasi* alat) karena ada beberapa rangkaian yang tidak dapat berfungsi saat dilakukan uji integrasi. Tegangan dan arus keluaran dari generator berubah-ubah dimana tegangan maksimal sekitar 13,5 volt dan arus maksimal sekitar 1,75 A. Karena perubahan tegangan dan arus tersebut terjadi dengan sangat cepat sehingga tidak mampu distabilkan oleh DC-DC Converter. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dilakukan pengujian dimana generator dikopel dengan motor sebagai pengganti penggerak angin. Dari pengujian tersebut, tegangan dan arus keluaran generator sudah stabil dan saat dimasukkan ke DC-DC Converter terjadi permasalahan pada PWM sehingga tidak mampu melakukan *trigger mosfet*.

Untuk *battery charger* mampu melakukan pengisian aki hingga 2,5 A dengan pengaturan tegangan *input* sebesar 16,10 Volt dan menghasilkan tegangan *output* sebesar 14 Volt. Tetapi dalam pengisian aki tersebut menggunakan arus pengisian sebesar 10% dari kapasitas arus. Sehingga membutuhkan tegangan *input battery charger* sebesar 15 Volt dan menghasilkan tegangan *output charger* sebesar 13,1 Volt.

Untuk hasil pengujian *inverter* belum mendapatkan *output* tegangan *sinus* murni. Output tegangan dari *inverter* masih mengandung tegangan *spike* yang sangat tinggi pada fase negatif sehingga nilai Vrms lebih rendah dari Vin.

Gambar 4.11 Gelombang Output Inverter

Untuk meredam tegangan spike tersebut dapat dilakukan dengan cara memberikan filter C pada output switching sebelum masuk ke transformator sehingga output dari transformator akan mendekati sinus murni.

4.1 KESIMPULAN

Setelah dilakukan proses perencanaan, pembuatan, pengujian alat, analisa, serta membandingkan dengan teori-teori penunjang, maka dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu:

1. Potensi angin di sekitar PENS-ITS kurang maksimal untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik dengan metode *vertical windmill*. Karena kecepatannya yang sering berubah secara signifikan (kecepatan tertinggi untuk mendapatkan arus keluaran sebesar 1,75 A terjadi selama 10 detik dalam setiap menitnya) sehingga tidak dapat memutar kincir angin secara kontinyu.
2. *Battery charger* mampu menghasilkan arus pengisian sebesar 1 A (10% dari kapasitas arus aki) pada tegangan *input* 15 Volt hingga 2,5 A pada tegangan *input* 16,1 Volt.

4.2 Saran

Selama proses pembuatan proyek akhir ini tentunya tidak lepas dari berbagai macam kekurangan dan kelemahan terutama pada peralatan yang telah dibuat. Saran dari penulis untuk dijadikan refrensi tahun berikutnya sehingga selalu ada pembenahan dan perbaikan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk melahirkan inovasi baru.

1. Desain dan pembuatan *vertical windmill* menggunakan bahan yang sangat ringan dan kuat serta rugi-rugi mekanik yang sangat kecil akan meningkatkan kecepatan kincir dan mampu menghasilkan daya yang sangat besar.
2. Desain *battery charger* harus disesuaikan dengan daya *output* generator sehingga daya yang dihasilkan oleh generator dapat disimpan secara maksimal tanpa adanya pembuangan energi.

5.1 DAFTAR PUSTAKA

[1] Datasheet Thyristor

[2] Datasheet Diode Zener

[3] Datasheet SCR BT 151-500R

[4] Efendi, M.Zaenal. Inverter Single Phase. EEPIS-ITS. Surabaya. 2009

[5] Giesselman, M.”The Power Electronic Handbook, Inverters”.Texas Tech University

[6] *http://hukum-hukum-dasar-listrik.html*

[7] *http://id.wikipedia.org/wiki/Turbin_angin*

[8] *http://pulsit.petra.ac.id/journals/mechanical*,

[9] Narsoyo , R Tedjo .Vertical-Axis Differential Drag Windmill. UNJANI. Surabaya. 2009

[10] R. C. Dugan, M.F. McGranaghan, S. Santoso dan H.W. Beaty,”Elactrical Power Systems Quality,”. McGraw-Hill, USA, 2002

[11] Sutedjo. Generator DC. EEPIS-ITS. Surabaya. 2010