PERANCANGAN *INVERTER* TENAGA SURYA *ON GRID* SATU FASA

Ridho Alfayet Umar[1], Kharisma Bani Adam[2], Bandiyah Sri Aprillia [3]

[1,2,3]Universitas Telkom, Bandung
ridhoal@student.telkomuniversity.ac.id[1], **kharismaadam@telkomuniversity.ac.id**[2], **bandiyah@telkomuniversity.ac.id**[3]

***Abstrak*— Berdasarkan Peraturan Menteri ESDM nomor 49/2018 pasal 6 ayat 1 yang berbunyi "Energi listrik Pelanggan PLTS Atap yang diekspor dihitung berdasarkan nilai kWh Ekspor yang tertera pada meter kWh ekspor-impor dikali 65% (enam puluh lima persen). Tegangan yang dihasilkan PLN adalah tegangan bolak-balik (AC) sedangkan panel surya menghasilkan tegangan searah (DC), sehingga dibutuhkan alat untuk mengonversi tegangan DC menjadi tegangan AC yaitu inverter. Saat menggabungkan dua sumber yang berbeda yaitu inverter dan jaringan PLN memerlukan sistem kendali yaitu grid connected. Penyusunan tugas akhir ini dilakukan untuk menyinkronkan sumber listrik satu fasa (inverter) dengan sumber listrik satu fasa yang lain (PLN). Sistem utama dari perancangan ini adalah inverter, dimana inverter akan mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Proses sinkronisasi memerlukan frekuensi yang sama dan fasa yang bisa diatur antara kedua sumber tersebut. Penulis melakukan teknik zero crossing yang merupakan teknik untuk menentukan titik nol sumber listrik satu fasa yaitu PLN. Titik nol ini akan mengaktifkan PWM mikrokontroler dan pembentukan SPWM untuk sakelar inverter. Pada tugas akhir ini dilakukan pengujian efisiensi inverter ketika kondisi on grid dengan cara megambilan data dititik yang sama secara beruang kali. Hasil dari pengujian ini didapat rata-rata efisiensi inverter sebesar 96.24% dan pengujian transfer daya hanya bisa mengirim daya pada perbedaan sudut kurang dari 10.8° dengan daya maksimal 25.7Watt.**

Kata Kunci: ***Inverter, on grid,*** **PLN, efisiensi,** ***zero crossing***

Abstract*— *In the Ministerial Regulation of the Ministry of Energy and Mineral Resources number 49/2018 article 6 paragraph 1 which reads "The electricity for the customers of PLTS Roof for export is calculated based on the export-import kWh value stated on the export-import kWh meter multiplied by 65% (sixty five percent). This means that PLTS electricity sold to PLN is valued at 65% of the prevailing electricity fare. The voltage generated by PLN is alternating voltage (AC) while the solar panel produces direct voltage (DC), so a tool is needed to convert DC voltage into AC voltage, namely an inverter. When combining two different sources the inverter and the PLN network, it requires a control system, namely a grid connected. The preparation of this final project is carried out to synchronize the singlephase power source (inverter) with other single phase electricity sources (PLN). The main system of this design is an inverter, where the inverter will convert DC voltage into AC voltage. The synchronization process requires the same frequency and phase to be adjusted between the two sources. The author performs the Zero Crossing technique which is a technique for determining the zero point of a single-phase power source, namely PLN. This zeropoint will trigger the microcontroller PWM and the formation of SPWM for inverter switching. In this final project, testing the efficiency of the inverter when conditions are on grid by taking data at the same point in bear times. The results of this test obtained an average inverter efficiency of 96.24% and the power transfer test can only send power at an angle difference of less than 10.8 with a maximum power of 25.7Watts provided that the inverter is leading to PLN and the amplitude of the PLN and the inverter must be the same.

Keywords: **Inverter, on grid, PLN, efficiency, zero crossing.**

I. PENDAHULUAN

Berdasarkan Peraturan Menteri (Permen) Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) nomor 49/2018 pasal 6 ayat 1 yang berbunyi "Energi listrik Pelanggan PLTS Atap yang diekspor dihitung berdasarkan nilai kWh Ekspor yang tercantum pada meter kWh ekspor-impor dikali 65% (enam puluh lima persen)[1]. Artinya lisrtik hasil PLTS yang dijual ke PLN dihargai sebesar 65% dari tarif listrik yang berlaku. Tegangan yang dihasilkan PLN adalah tegangan bolak-balik (AC) sedangkan panel surya menghasilkan tegangan searah (DC), sehingga dibutuhkan alat untuk mengonversi tegangan DC menjadi tegangan AC yaitu *inverter*.

Salah satu teknik untuk mendapatkan gelombang sinus murni dari konversi gelombang DC adalah memodulasi lebar sinyal pulsa gelombang DC tersebut. Pada penelitian sebelumnya dilakukan menggunakan metode MPWM (*Multiple Pulse Width Modulation*) merupakan salah satu teknik pensakelaran *inverter* yang banyak *cycle* dalam setengah gelombang. Untuk membangkitkan sinyal tersebut dengan cara membandingkan sinyal kotak sebagai referensi dengan sinyal segitiga sebagai pembawa. Keluaran dari inverter menggunakan metode MPWM berupa gelombang sinus yang mendekati murni[2]. Pada penelitian sebelumnya memiliki kelemahan yaitu keluaran gelombang sinus yang mendekati murni, jadi pada penelitian ini penulis menggunakan metode SPWM (*Sinusoidal Pulse Width Modulation*) merupakan teknik manipulasi lebar pulsa menggunakan cara perbandingan antara dua sinyal yang berbeda, yaitu sinyal referensi (sinyal sinusoidal) dan sinyal pembawa (sinyal segitiga) dengan keluaran gelombang AC murni[3].

Pada penulisan tugas akhir ini, penulis akan membuat *inverter* yang terhubung dengan PLN (*on grid*) dengan tegangannya 220V serta keluaran gelombang *sinusoidal* yang satu frekuensi dengan PLN. Saat menggabungkan dua sumber yang berbeda yaitu *inverter* dengan jaringan PLN memerlukan sistem kendali yaitu *grid connected*. Proses sinkronisasi memerlukan frekuensi yang sama dan fasa yang bisa diatur antara kedua sumber tersebut. Penulis menggunakan teknik zero crossing untuk menentukan titik nol sumber listrik satu fasa yaitu PLN. Titik nol ini akan memicu aktifnya PWM mikrokontroler dalam pembentukan SPWM untuk pensakelaran *inverter*.

II. STUDI PUSTAKA

2.1 Standar PLTS

Berdasarkan SPLN D3.022-2: 2012, inverter untuk PLTS Stand alone ataupun gridconnected harus memenuhi kriteria berikut[4]:

1. PLTS *On Grid* menggunakan *inverter* jenis *on grid inverter*.
2. PLTS *Off Grid* menggunakan inverter jenis *off grid/bidirectional*.
3. PLTS *hibrid* menggunakan inverter jenis *bidirectional* atau dikombinasikan dengan *on grid* directional inverter.
4. Tegangan keluaran inverter harus memiliki kualitas gelombang dengan THD maksimum 3%. THD arus untuk *grid connected* adalah 5%.
5. Memiliki sistem pengaturan Maximum Power Point Tracking (MPPT) dengan metode Pulse Width Modulation (PWM).
6. Mampu bekerja pada suhu lingkungan sampai dengan 45°C.
7. Arus hubung singkat 3 kali arus nominal.
8. Efisiensi >90% pada beban penuh.
9. Mempunyai fitur PQ mode atau kontrol daya konstan untuk grid connected dan PV mode untuk stand alone.

Disamping itu, berdasarkan SPLN D3.022-2: 2012 inverter PLTS juga harus memiliki proteksi berikut:

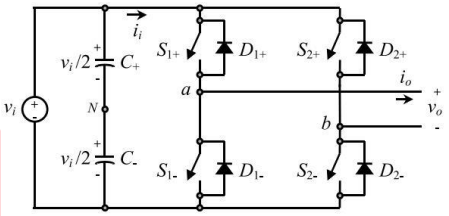
1. *Over/Under Frequency, inverter* harus mampu menjaga frekuensi keluaran sesuai rentang frekuensi yang diperbolehkan. di Indonesia rentang frekuensi dijaga pada 50±0,2 Hz kecuali pada periode transien singkat diizinkan 50±0,5 Hz[5].
2. *Over/Under Voltage, inverter* harus mampu menjaga tegangan keluaran sesuai rentang yang diperbolehkan. di Indonesia rentang tegangan yang diperbolehkan adalah 230 Volt -10%, +5%Over/Under Voltage, inverter harus mampu menjaga tegangan keluaran sesuai rentang yang diperbolehkan. di Indonesia rentang tegangan yang diperbolehkan adalah 230 Volt -10%, +5%[5]..

2.2 Zero Crossing Detector

Zero Crossing Detector merupakan rangkaian yang dipakai untuk mendeteksi gelombang *sinusoidal* saat melintasi titik tegangan nol. Seberangan titik nol yang dideteksi ialah perpindahan dari positif beralih ke negatif dan peralihan dari negatif ke positif. *Zero crossing detector* memiliki fungsi untuk mendeteksi perpotongan antara gelombang *sinusoidal* pada tegangan AC dengan *zero point* tegangan AC tersebut, jadi dapat memicu untuk memberikan sinyal acuan ketika dimulainya sinyal PWM. Peralihan titik nol yang terdeteksi ketika perpindahan dari siklus positif ke siklus negatif dan perpindahan dari siklus negatif ke siklus positif[2].

2.3 Single Phase Full Bridge Inverter

Konverter jembatan penuh pada Gambar 2.1 adalah sirkuit dasar yang digunakan untuk mengkonversi tegangan DC ke AC [6][7].



Gambar 2.1 Single Phase Full Bridge VSI[6][7]

Berdasarkan gambar 2.1, yaitu konfigurasi rangkaian *single-phase full-bridge* VSI. Rangkaian ini terdiri dari empat sakelar yang berkorespondensi dengan sisi kiri atas (S_{1+}), sisi kanan atas (S_{2+}), sisi kiri bawah (S_{1-}), dan sisi kanan bawah (S_{2-}). Ada lima kondisi pada sakelar yang dapat digunakan untuk mendapatkan tegangan di seluruh beban.

2.4 Sinusoidal Pulse Width Modulation

Metode digital menggunakan bantuan mikrokontroler. Dalam metode ini menggunakan beberapa baris coding (source code) tertentu agar bisa membangkitkan sinyal SPWM secara langsung tanpa perlu membangkitkan dua buah sinyal. Membangkitkan sinyal SPWM menggunakan mikrokontroler dengan cara mengubah setengah periode gelombang sinusoidal menjadi beberapa buah pulsa dengan lebar pulsa yang berbeda-beda mengikuti besaran tegangan gelombang sinusoidal. Misalkan dalam gelombang sinusoidal, tegangan minimumnya saat kondisi sudut 0° setelah beberapa saat mulai naik hingga nilai puncak, yaitu ketika sudut 90°.Amplitudo tegangannya Kembali turun (sama seperti sebelumnya dengan kondisi terbalik) yaitu dari 90° turun hingga 0°[3].

Berikut merupakan langkah saat proses membangkitkan sinyal SPWM menggunakan mikrokontroller:

Tentukan frekuensi dan periode dari gelombang referensi (*sinusoidal*) yang diharapkan. Dapat digunakan melalui persamaan berikut:

$$T=1/f \quad (2.1)$$

Dimana:

T = Periode

f = frekuensi

Tentukan periode setiap pulsa SPWM. Periode setiap pulsa SPWM berkaitan dengan frekuensi pembawa, jadi perlu menentukan frekuensi sinyal pembawa yang digunakan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Output cf} = (fk)/((\text{prescaler} \times 510)) \quad (2.2)$$

Dimana:

carrier frequency (cf)

Frekuensi kristal (fk) merupakan frekuensi clock mikrokontroller yang digunakan

Prescaler merupakan faktor pembagi timebase pada mikrokontroler

Tentukan jumlah pulsa SPWM yang dihasilkan.
Tentukan *duty cycle* setiap pulsa PWM. Hal ini didapat dengan menggunakan persamaan berikut berikut:

$$y = A \sin(\theta) \quad (2.3)$$

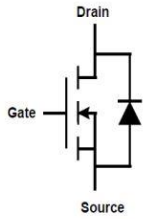
Dimana:
y = lebar *Duty cycle* setiap pulsa PWM
A = Amplitudo

Ubah nilai y menjadi *duty cycle* PWM. Hasil perhitungan di atas dikalikan dengan nilai maksimal *duty cycle* digital sebesar 255. Akan tetapi, agar menghindarkan *on-off* yang berdekatan, maka dipilih nilai maksimal *duty cycle* yaitu 200. Nilai-nilai ini akan menjadi tabel *sinusoidal* saat *main program*.

2.5 Mosfet

MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) adalah transistor efek medan berupa perangkat semikonduktor yang mempunyai impedansi masukan tinggi. MOSFET bekerja dengan cara mengaktifkan buka tutup saklar *on* dan *off*. MOSFET mempunyai 3 gerbang terminal yaitu *gate* (G), *source* (S), dan *drain* (D). Melalui gerbang tersebut, arus listrik masuk melewati *source* dan keluar melalui *drain*. *Gate* berfungsi untuk mengatur lebar saluran yang dikendalikan oleh tegangan elektrode[8]. *Power* MOSFET atau MOSFET daya merupakan MOSFET spesifik yang digunakan untuk mengatur level-level daya tertentu. Perangkat ini mempunyai kelebihan yaitu kecepatan *switching* yang tinggi dan efisiensi yang bagus pada level tegangan rendah[9].

MOSFET N-*Channel* ditunjukkan pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 MOSFET N-*Channel* [9]

2.6 Filter Pasif

Filter pasif biasa digunakan untuk mengurangi rugi daya reaktif karena adanya harmonisa pada sistem instalasi. Rangkaian filter pasif terdiri dari komponen pasif seperti resistor, induktor, dan kapasitor.

Filter pasif terdiri dari kapasitor serta induktor yang frekuensinya diatur pada frekuensi tegangan harmonisa yang akan dihilangkan[13].

$$fr=1/2\pi LC \quad (2.4)$$

Dimana:
fr: Frekuensi setting
L: Induktansi
C: Kapasitansi

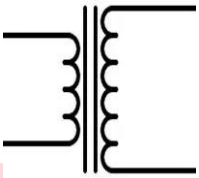
Untuk karakteristik susunan frekuensi setting filter, yaitu:

$$nr=fr/f1 \quad (2.5)$$

nr : Orde dari resonansi
fr : Frekuensi setting
f1 : Frekuensi fundamental

2.7 Transformator Step up

Transformator *step up* memiliki lilitan sekunder lebih banyak daripada lilitan primer, jadi fungsinya sebagai menaikkan tegangan. Transformator ini bisa ditemukan pada pembangkit tenaga listrik untuk manaikkan tegangan yang dihasilkan generator menjadi tegangan tinggi yang difungsikan pada transmisi jarak jauh[10].



Gambar 2.3 Lambang Transformator step up[10]

2.8 Baterai

Baterai merupakan sel listrik yang didalamnya terdapat proses elektrokimia yang reversibel (dapat berkebalikan) dengan efisiensi yang tinggi. Reaksi elektrokimia reversibel ada didalam baterai yang dapat berlangsung proses pengosongan (mengubah tenaga kimia menjadi tenaga listrik) dan proses pengisian (dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia) menggunakan proses regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai yaitu, dengan melewatkan arus listrik dalam arah polaritas yang berlawanan didalam sel[11].

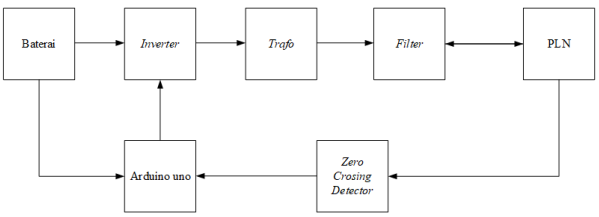
2.9 Transfer Daya

Transfer daya (menyumbang atau menyerap) dari kedua daya aktif atau reaktif dapat dikontrol dengan menentukan amplitudo dari tegangan keluaran *inverter* dan tegangan keluaran PLN. Jika *inverter* mempunyai peralatan penyimpan energi (aki) pada sisi tegangan DC, maka dapat menyalurkan daya aktif antara inverter dengan PLN. Daya aktif dikontrol ketika perbedaan fasa antara tegangan *inverter* dengan tegangan PLN. Jika tegangan *inverter leading* terhadap tegangan PLN dengan amplitudo tegangan yang sama, maka *inverter* menyumbang daya aktif kedalam PLN. Sedangkan saat sudut fasa tegangan inverter *lagging* terhadap sudut fasa tegangan PLN dengan amplitudo sama, maka inverter dalam hal ini menyerap daya aktif.

III. METODE/DESAIN

3.1 Desain Sistem

Struktur sistem yang telah dirancang untuk *inverter* satu fasa dapat dilihat pada blok diagram pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Blok Sistem

Keterangan:

Baterai: Sebagai sumber DC dengan input 12V yang akan disambungkan dengan inverter dan arduino uno

ZCD: Ketika baterai disambungkan dengan inverter, secara bersamaan Zero Crossing Detector disambungkan ke PLN untuk mendeteksi nilai nol pada PLN yang akan dibaca oleh arudino.

Arduino: Mengolah sinyal ZCD dan membangkitkan sinyal SPWM dengan cara mengubah setengah periode gelombang sinusoidal menjadi beberapa buah pulsa dengan lebar pulsa yang berbeda-beda mengikuti besaran tegangan gelombang sinusoidal dan akan dikirim menuju inverter.

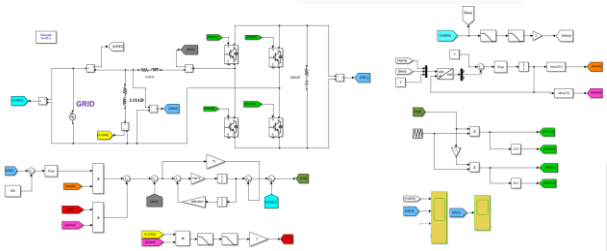
Inverter: Inverter yang digunakan adalah inverter fullbridge satu fasa yang mengubah 12VDC menjadi 8.5VAC dengan keluaran gelombang yang belum di filter dan akan disambungkan ke transformator

Transformator: Menaikkan tegangan dari 8.5V menjadi 220V yang akan disambungkan ke filter.

Filter: Memfilter gelombang menjadi gelombang sinusoidal dan sebagai coupling antara PLN dan Inverter.

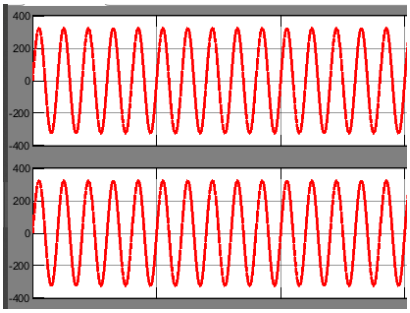
PLN: Sumber AC yang akan pararelkan dengan inverter.

3.2 Simulasi



Gambar 3.2 Rangkaian Inverter Menggunakan Mathlab

Simulasi perancangan *inverter* menggunakan aplikasi *mathlab* untuk mengetahui keluaran dari *inverter* yang sudah satu frekuensi dengan PLN dan mengghasilkan 220Vrms.



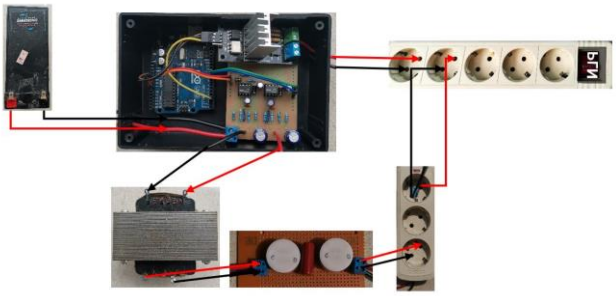
Gambar 3.3 Vout Inverter dan Vout Grid

Dari gambar 3.3 bisa dilihat bahwa tegangan keluaran dari inverter sudah sama dengan PLN.

3.3 Desain Perangkat Keras

3.3.1 Inverter

Pada perancangan ini diharapkan *inverter* dapat menghasilkan keluaran *sinusoidal* sebesar 220V AC dengan frekuensi yang sama dengan PLN. Sumber DC menggunakan 12V dan ZDC melakukan teknik *zero crossing* untuk menentukan titik nol PLN. Titik nol ini akan memicu aktifnya PWM arduino dan pembentukan SPWM yang akan dikirim ke IC IR2103 dengan *input* 5V dari dari arudino dan keluaran IC IR2103 10V karena MOSFET akan aktif ketika menerima voltase sebesar 10V. Setelah MOSFET menerima sinyal SPWM, MOSFET akan bekerja sesusai dengan perintah SPWM hingga terkonversi dari tegangan DC 12V menjadi Tegangan AC 8.5V yang akan dinaikkan tengangannya menjadi 220V menggunakan trafo non ct dan akan difilter menggunakan filter LCL yang akan membentuk sinyal keluaran *inverter* menjadi gelombang *sinusoidal* dengan frekuensi sebesar 50Hz sehingga akan dipararelkan dengan PLN untuk menghitung efisiensi dan transfer daya inverter terhadap PLN. Pada perancangan sistem ini, maka dibuat desain perangkat keras *inverter* pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Desain Perangkat Keras *Inverter*

3.3.2 Baterai

Baterai yang digunakan merupakan baterai jenis VRLA dengan tegangan 12V DC dan berkapasitas 7.5AH. Baterai ini dipilih karena pada perancangan ini hanya mempararelkan *inverter* dengan PLN tanpa menggunakan beban.

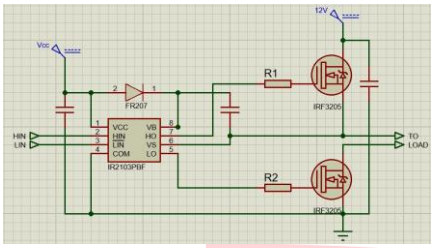
Baterai dihubungkan dengan inverter yang akan dikonversikan menjadi tegangan AC dan dipararelkan dengan PLN.

Gambar 3.5 Baterai 12V, 7.5AH

3.3.3 Driver IC

MOSFET bekerja pada kondisi tertentu, ketika MOSFET IRF3205 akan bekerja saat *gate* (G) menerima tegangan 10 volt. Sedangkan pada keluaran SPWM dari *mikrokontroller* menghasilkan 5 volt sehingga MOSFET IRF3205 tidak bisa

bekerja karena tegangan yang diterima lebih rendah dari tegangan *thresholdnya*. Jadi dibutuhkan *driver* IC untuk mengontrol sinyal keluaran PWM agar MOSFET dapat bekerja. IC IR2103 merupakan *driver* yang cocok agar kebutuhan kerja MOSFET IRF3205 terpenuhi, karenakan IC IR2103 memiliki *high side voltage output* dan *low side voltage output* yang mempunyai tegangan keluaran 10-20 volt.



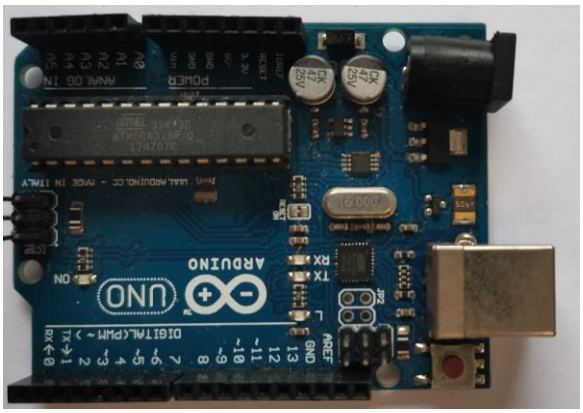
Gambar 3.6 Rangkaian Driver IC 2103

3.3.4 MOSFET

Pada saat perancangan *inverter*, transistor sebagai *switching* memberi peran yang penting saat proses mengubah sinyal DC menjadi sinyal AC [7]. Jadi menentukan transistor untuk *switching* pada *inverter* harus cermat. Jenis transistor yang digunakan adalah MOSFET karena MOSFET mempunyai nilai resistansi yang lebih kecil daripada jenis transistor seperti JFET dan BJT [12]. Parameter yang harus diperhatikan saat menentukan MOSFET yaitu $r_{ds(on)}$ (resistansi *drain* ke *source*), $V_{GS(th)}$ (tegangan ambang *gate*), dan $V_{(BR)DSS}$ (tegangan *breakdown*). MOSFET yang digunakan adalah empat MOSFET N-channel dengan jenis IRF3205. Pada perancangan tugas akhir ini membutuhkan MOSFET dengan nilai $r_{ds(on)}$ yang kecil, karena semakin kecil nilai $r_{ds(on)}$ akan menghasilkan disipasi yang kecil pada MOSFET sehingga meminimalisir daya yang terbuang. Agar kecepatan *switching* pada *inverter* mempunyai sensitivitas yang tinggi selain nilai $r_{ds(on)}$ yang kecil, harus mempertimbangkan nilai t_r (*rise time*), t_f (*fall time*), $t_{d(on)}$ (*turn on delay time*), $t_{d(off)}$ (*turn off delay time*) yang kecil. Datasheet IRF3205 yang terdapat pada lampiran menjelaskan bahwa IRF3205 memiliki nilai $r_{ds(on)}$ = 0,008 Ω, nilai t_r = 101 ns, t_f = 65 ns, $t_{d(on)}$ = 14 ns, dan $t_{d(off)}$ = 50 ns, $V_{GS(th)}$ = 2 V sampai 4V. Pemilihan MOSFET IRF3205 sudah cocok dengan *inverter* yang dirancang pada perancangan tugas akhir ini

3.3.5 Arduino Uno

Arduino uno merupakan *single board* yang menggunakan mikrokontroler ATmega328P. Arduino Uno mempunyai empat belas pin digital *input/output* (bisa ditulis I/O, diantaranya ada enam pin dapat digunakan sebagai *output* PWM), enam pin *input* analog, menggunakan *crystal* 16 MHz, koneksi USB, *jack* listrik, *header* ICSP dan tombol reset. Saat menggunakan *arduino* sebagai kontrol bisa digunakan untuk membangkitkan gelombang PWM agar menjalankan *driver inverter*. Frekuensi dari gelombang PWM sebesar 18 khz, nilai frekuensi didapatkan karena untuk menurunkan *timer* yang tertera pada mikrokontroler.

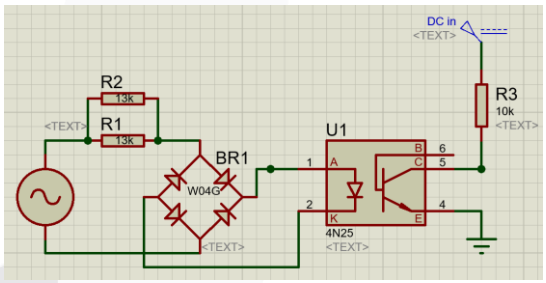


Gambar 3.7 Arduino Uno

Pada perancangan inverter satu fasa ini menggunakan pin 9 dan 10 yang akan dihubungkan dengan *driver* MOSFET. Mikrokontroler *arduino uno* digunakan untuk melakukan *switching* MOSFET untuk mendapatkan gelombang *sinusoidal* yang belum difilter.

3.3.6 Zero Crossing Detector

Zero crossing detector merupakan rangkaian untuk menentukan titik nol atau titik persilangan antara gelombang *sinusoidal*. Rangkaian ini menggunakan IC *optocoupler*, yaitu 4N25 dan komponen resistor. Untuk melihat titik nol sumber listrik PLN, langkah pertama tegangan PLN dibaca dan diteruskan menuju IC 4N25. IC 4N25 akan menghasilkan keluaran *high* dan *low* sesuai sinyal dari pln kemudian *arduino* membaca ketika ada perubahan *high* ke *low* ini akan menjadi hasil keluaran *zero crossing detector* yang akan menjadi pemicu untuk memulai SPWM.



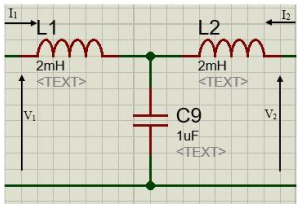
Gambar 3.8 Rangkaian Zero Crossing

3.3.7 Filter LCL

Filter pasif LCL terdiri dari komponen induktor dan kapasitor dengan satu frekuensi untuk mengatur frekuensi tegangan harmonisa dan *ripple* tegangan yang akan dihilangkan.

$$Fr = 1/(2\pi\sqrt{LC}) \quad (3.1)$$

Fr = Frekuensi *setting*
L = Induktansi
C = Kapasitor



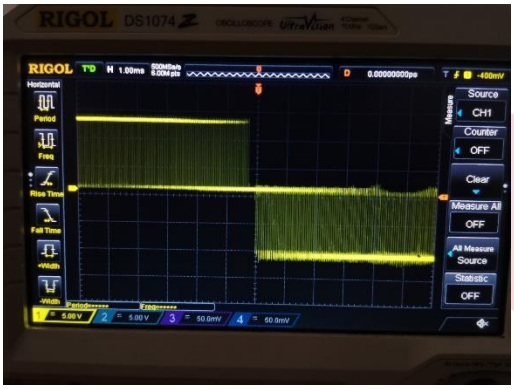
Gambar 3.9 Filter LCL

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

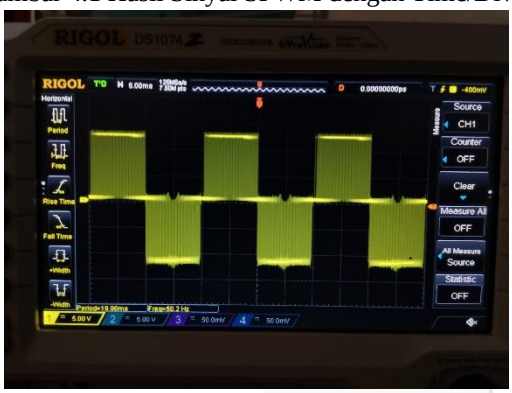
Pada bab ini akan membahas hasil dari pengujian dan analisis alat yang sudah dirancang, sehingga sistem yang dibuat sesuai dengan yang diinginkan.

4.1 Pengujian Keluaran Sinyal SPWM

Pengujian dilakukan dengan menggunakan osiloskop digital. Sinyal yang diamati adalah keluaran sinyal SPWM yang sudah melewati MOSFET. Sinyal SPWM dihasilkan dari *arduino uno*. Frekuensi sinyal SPWM yang digunakan adalah 18 kHz diambil dari *prescaler* yang ada pada *arduino uno*.



Gambar 4.1 Hasil Sinyal SPWM dengan Time/Div 1ms

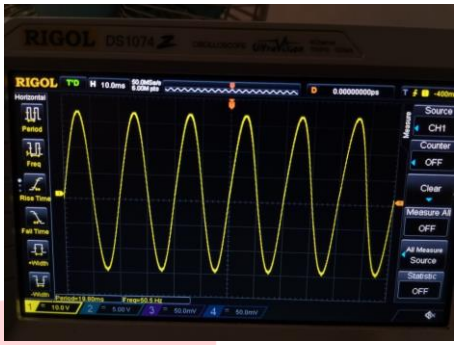


Gambar 4.2 Hasil Sinyal SPWM dengan Time/Div 5ms

Dengan memodifikasi *duty cycle* menyerupai pola sinus akan menghasilkan SPWM. Mengatur besar duty cycle dilakukan dengan mode *intterupt*. Pengubahan data dilakukan dengan cara pengambilan data dari *sine lookup table*. Fokus utama pembentukan SPWM yaitu dua buah sinyal yang berbeda fase 180 derajat. Sinyal sinus yang dibangkitkan dengan alamat awal nol akan menghasilkan sinyal seperti Gambar 4.1, Dengan demikian, secara digital proses pergeseran fase sebesar 180 derajat dapat diperoleh dengan mengatur nilai awal pencacah sebesar nol dan sebesar setengah dari jumlah data yang tersedia dalam tabel sinus. Proses pembentukan sinyal lainnya dengan mengaktifkan mode *complementary* dalam *arduino uno*. Dengan mode tersebut secara otomatis akan menghasilkan keluaran PWM yang saling berkomplemen dan dapat disisipkan nilai *dead time* pada sinyal dengan mode *complementary*. *Dead time* adalah jeda waktu antara kedua buah sinyal yang berkomplemen untuk mencegah kedua buah sakelar nyala secara bersamaan. Kondisi nyala bersamaan terjadi karena sakelar semikonduktor MOSFET bukan merupakan sakelar yang ideal.

4.2 Pengujian Keluaran Inverter

Dilakukan pengujian keluaran inverter adalah untuk melihat gelombang akhir yang dihasikan inverter setelah melewati transformator dan filter, apakah gelombang yang dihasilkan berupa gelombang sinusoidal dan menghasilkan frekuensi sebesar 50Hz.



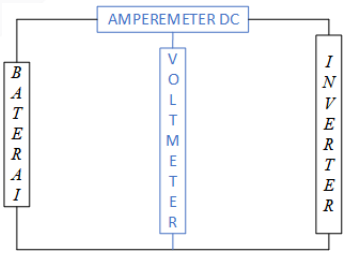
Gambar 4.3 Gelombang Keluaran Inverter

Gambar 4.4 Gelombang Keluaran Inverter

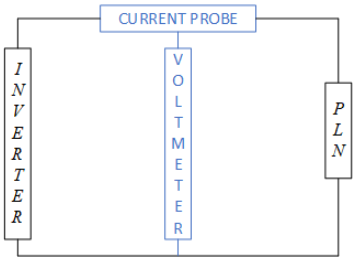
Gambar 4.3 merupakan gelombang keluaran inverter, gelombang yang dihasilkan adalah *sinusoidal* dengan besar *duty cycle* 50.50%, frekuensi 50.50 Hz, dengan periode 19.80 ms dan tegangan maksimal 32.4V AC, sehingga Vrms sebesar 22.1V AC dengan diperkecil 10X jadi Vrms inverter sebesar 221V AC yang dapat dilihat pada gambar 4.4.

4.3 Pengujian Efisiensi Daya Inverter On Grid

Pada pengujian ini daya *input inverter* dihitung menggunakan *voltmeter* dan *ampere* meter DC sedangkan daya *output inverter* dihitung menggunakan PROVA 6830A yang berfungsi untuk mengukur *power* dengan pengambilan data dititik yang sama secara berulang kali seperti gambar 4.5 dan 4.6.



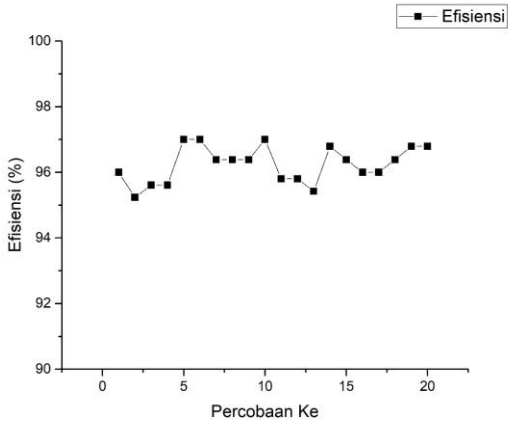
Gambar 4.5 Konfigurasi Mencari Daya *input*



Gambar 4.6 Konfigurasi Mencari Daya *output*

Untuk menghitung efisiensi inverter dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi} = \text{Pout}/\text{Pin} \times 100\% \quad (4.1)$$

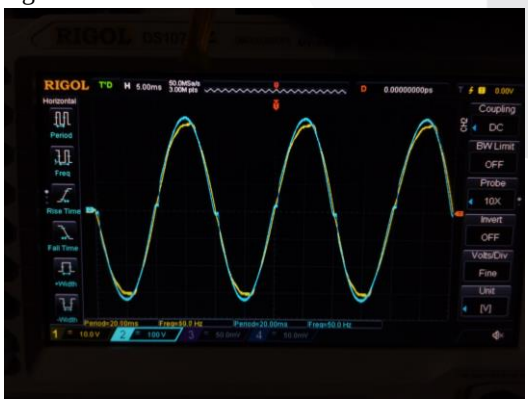


Gambar 4.7 Grafik Efisiensi *Inverter*

Dari gambar 4.7 dapat disimpulkan bahwa efisiensi rata-rata inverter sebesar 96.24% yang terhubung dengan grid. Nilai efisiensi ini telah memenuhi tujuan nilai yang dirancang yaitu 80%.

4.4 Pengujian Transfer Daya Pada Inverter

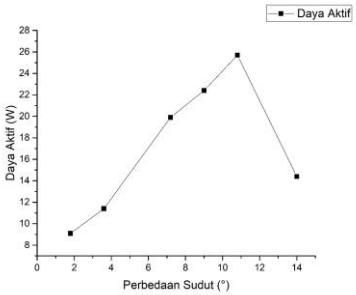
Pada pengujian ini daya *output inverter* yang tehubung PLN dihitung menggunakan PROVA 6830A yang berfungsi untuk mengukur *power* dengan pengambilan data dititik yang sama dengan merubah nilai kodingan untuk menggeserkan fasa *inverter* hingga kondisi *leading* terhadap PLN yang bisa dilihat di osiloskop pada gambar 4.6 dan gambar 4.8.



Gambar 4.8 Kondisi *Inverter leading* Terhadap PLN

Untuk menghitung transfer daya inverter dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P = V \times I \times \cos\varphi \quad (4.2)$$



Gambar 4.9 Grafik Transfer Daya *Inverter* ke PLN

Dari gambar 4.9 dapat dilihat bahwa transfer daya pada *inverter* ketika perbedaan sudut dinaikkan secara bertahap akan mengakibatkan daya aktif meningkat, artinya semakin besar perbedaan sudut semakin besar daya aktif yang dikirim, tetapi ketika perbedaan sudut diatas 10.8˚ daya menurun, jadi transfer daya pada perancangan ini hanya bisa mengirim daya pada perbedaan sudut kurang dari 10.8˚ dengan syarat *inverter leading* terhadap PLN serta amplitudo PLN dan *Inverter* harus sama.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian inverter yang terhubung dengan PLN (on grid) yang sudah dilakukan, kesimpulan yang didapat antara lain:

1. Output inverter menghasilkan 221-229 VAC dari input 12VDC dengan keluaran gelombang sinusoidal dan frekuensi yang sama dengan PLN.
2. Inverter bisa mentransfer daya hingga 25.7Watt saat perbedaan fasa sebesar 10.8˚.
3. Berdasarkan hasil pengujian inverter yang terhubung dengan PLN, maka rata-rata efisiensi inverter sebesar 96.24%. Nilai efisiensi ini telah memenuhi tujuan nilai yang dirancang yaitu 80%.

REFERENSI

[1] Pemerintah Indonesia, *MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL REPUBLIK INDONESIA*. Indonesia, 2018.

[2] M. Irpan, E. Susanto, and B. Setiadi, “Rancang Bangun Dan Implementasi Sistem Kendali Grid Connected Pada Sumber Listrik Satu Fasa,” *Jur. Tek. Elektro, Fak. Tek. Elektro, Univ. Telkom*, 2015.

[3] K. Azmi, I. D. Sara, and Syahrizal, “Desain Dan Analisis Inverter Satu Fasa Dengan Menggunakan Metode Spwm Berbasis Arduino,” *Tek. Elektro dan Komputer, Univ. Syiah Kuala*, 2017.

[4] P. Priajana, I. Kumara, and I. Setiawan, “Grid Tie Inverter Untuk Plts Atap Di Indonesia : Review Standar Dan Inverter Yang Compliance di Pasar Domestik,” *Progr. Stud. Tek. Elektro, Fak. Tek. Univ. Udayana*, 2020.

[5] Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, “Aturan Jaringan Sistem Tenaga Listrik Jawa-Madura-Bali,” *Peratur. Menteri Energi Dan Sumber Daya Miner.*, vol. 3, pp. 1–135, 2007.

[6] H. Rashid, *POWER ELECTRONICS HANDBOOK*. 2001.

[7] Hart. Danial W, *Power Electronics*, 1st ed. New York: McGraw-Hill, 2010.

[8] D. Ma, *Reconfigurable Switched-Capacitor Power Converter*. New York: Springer, 2013.

[9] W. A. Hamed, "Power Electronic Inverter Circuits," *Univ. Khartoum, Khartoum*, 2013.

[10] A. Izzah, "Rancang Bangun Dan Analisis Inverter Full Bridge 1 Fasa Dengan Berbagai Variasi Input Menggunakan Spwm (Sinusoidal Pulse Width Modulation)," *Inst. Teknol. Sepuluh Novemb.*, 2017.

[11] M. Thowil Afif and I. Ayu Putri Pratiwi, "Analisis Perbandingan Baterai Lithium-Ion, Lithium-Polymer, Lead Acid dan Nickel-Metal Hydride pada Penggunaan Mobil Listrik - Review," *J. Rekayasa Mesin*, 2015.

[12] A. S. Sedra and K. C. Smith, *Microelectronics Circuits*. 2009.