

INVERTER 15V DC-220V AC BERBASIS TENAGA SURYA UNTUK APLIKASI SINGLE POINT SMART GRID

Dian Sarita Widaringtyas.¹, Eka Maulana, ST., MT., M.Eng.², Nurussa'adah, Ir. MT.²
¹Mahasiswa Teknik Elektro Univ. Brawijaya, ²Dosen Teknik Elektro Univ. Brawijaya

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jalan MT. Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: dian.sarita@gmail.com

Abstrak— *Smart Grid* sebagai model jaringan listrik masa depan memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan jaringan listrik konvensional yang masih menggunakan bahan bakar fosil untuk menghasilkan energi listrik. *Smart Grid System* dapat menggabungkan penggunaan sumber energi terbarukan seperti cahaya matahari dan sumber energi yang tidak terbarukan. Untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik diperlukan sel surya. Pemanfaatan energi listrik yang dihasilkan oleh sel surya tidak dapat berdiri sendiri, diperlukan instalasi listrik tenaga surya. Instalasi listrik tenaga surya tersebut terdiri dari sel surya, baterai, *inverter* dan transformator. Penelitian ini menggunakan *inverter* 15V DC-220V AC yang dirancang dari ICL8038. IC ini dapat menghasilkan tiga keluaran sinyal yaitu sinyal sinus, sinyal segitiga, dan sinyal kotak. Sinyal-sinyal tersebut memiliki tegangan dan arus yang kecil, sehingga dirancang *driver* tegangan dan *driver* arus sinyal keluaran. Pengujian ICL8038 menghasilkan karakteristik tegangan dan arus sinyal yang linier dengan frekuensi sebesar 50,20 - 52,30Hz. Pengujian *driver* tegangan sinyal sinus menghasilkan tegangan 15,6V. Pengujian *driver* tegangan sinyal segitiga menghasilkan tegangan 15,4V. Pengujian *driver* tegangan dan arus sinyal kotak menghasilkan tegangan 11,1V. *Driver* arus menghasilkan $I_{SC} = 0,35A$. Perancangan *inverter* telah mampu menghasilkan tegangan keluaran dari sinyal sinusoidal sebesar 95,5V, sinyal segitiga sebesar 91,2V dan sinyal kotak sebesar 152V.

Kata Kunci—*Smart Grid*, sel surya, *Inverter*, ICL8038.

I. PENDAHULUAN

Smart grid merupakan model jaringan listrik yang dapat dikembangkan di Indonesia sebagai jaringan listrik masa depan. *Smart grid* yang memiliki keunggulan fleksibel, efisien dan biaya operasionalnya murah juga merupakan solusi untuk memecahkan masalah lingkungan yang dihasilkan oleh pembangkit tenaga listrik [1]. Saat ini, *smart grid* sudah diterapkan di negara-negara maju seperti Jepang, Inggris dan Amerika. Sistem ini mengintegrasikan berbagai sumber energi seperti sumber energi fosil dan sumber energi terbarukan untuk menghasilkan energi listrik [2]. Salah satu sumber energi terbarukan yang menjanjikan dalam *smart grid* adalah cahaya matahari.

Indonesia memiliki potensi menjadikan panel surya sebagai salah satu sumber energi listrik karena Indonesia berada pada garis khatulistiwa yang membuat sinar matahari dapat diterima dengan optimal hampir di seluruh permukaan wilayah Indonesia [3]. Namun, energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya tidak dapat digunakan secara langsung. Energi listrik yang dihasilkan panel surya berupa tegangan DC sedangkan yang digunakan pada jaringan listrik adalah tegangan AC. Sebagai perantaranya

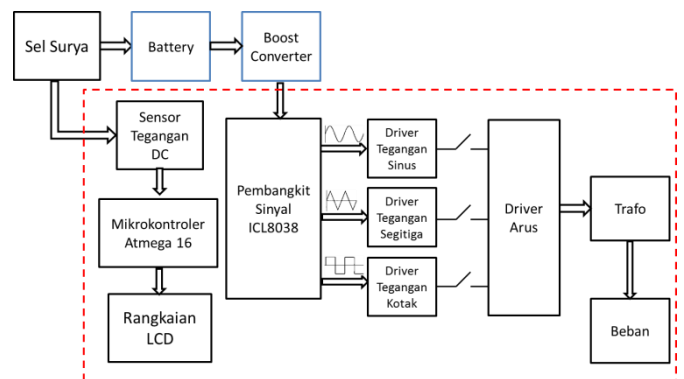
inverter DC ke AC diperlukan untuk mengonversi tegangan dan menghubungkan ke jaringan *smart grid*.

Berdasarkan penelitian sebelumnya *inverter* yang sudah banyak dikembangkan untuk sistem *smart grid* adalah dengan memanfaatkan sinyal PWM. Sehingga, perlu adanya pembanding hasil konversi tegangan *inverter* memanfaatkan pembangkitan sinyal yang lain di antaranya sinyal sinus, sinyal segitiga dan kotak. Dalam penelitian ini akan dirancang *inverter* 15V DC-220V yang memiliki tiga jenis pembangkitan sinyal yaitu sinyal sinus, sinyal segitiga dan kotak.

Tujuan penelitian ini adalah membuat *inverter* 15V DC-220V AC yang dapat menghasilkan tegangan keluaran dengan frekuensi 50Hz. *Inverter* yang dirancang dapat diterapkan dalam *single point smart grid* dengan sel surya sebagai sumber energi listriknya.

II. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Perancangan dan pembuatan alat dirangkum dalam sebuah diagram blok seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

Penjelasan mengenai diagram blok sistem sebagai berikut:

1. Sel surya berfungsi sebagai sumber energi listrik DC 15V yang diubah menjadi tegangan AC 220V.
2. Rangkaian sensor tegangan berfungsi sebagai pengukur tegangan yang dihasilkan oleh sel surya.
3. *Microcontroller* ATMEGA 16 berfungsi sebagai kontroler dan pengolah semua data yang masuk dan akan mengeluarkan data sesuai keinginan *user*.
4. LCD *character* 16x2 berfungsi sebagai penampil.
5. ICL8038 berfungsi sebagai pembangkit sinyal berbentuk sinyal kotak, segitiga dan sinus.

6. *Driver* tegangan berfungsi untuk menghasilkan keluaran sinyal dengan penguatan yang menghasilkan tegangan AC 15V.
7. *Driver* arus berfungsi untuk menghasilkan keluaran sinyal dengan penguatan arus maksimum.
8. Trafo digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan tegangan AC 220V.

A. Pemodelan Sel Surya

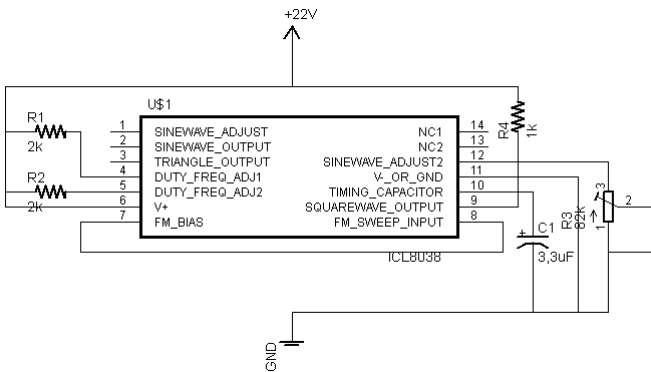
Sistem ini membutuhkan beberapa parameter sel surya. Parameter sel surya yang digunakan dalam perancangan ini ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Sel Surya

Parameter Sel Surya	Nilai
Maximum Power (P_{max})	50 Watt-Peak
Short Circuit Current (I_{SC})	3,12A
Maximum Power Current (I_{mpp})	2,92A
Open Circuit Voltage (V_{OC})	21,63V
Nominal Voltage (V_{mpp})	17,13V

B. Perancangan Rangkaian Pembangkit Sinyal dengan ICL8038 [4]

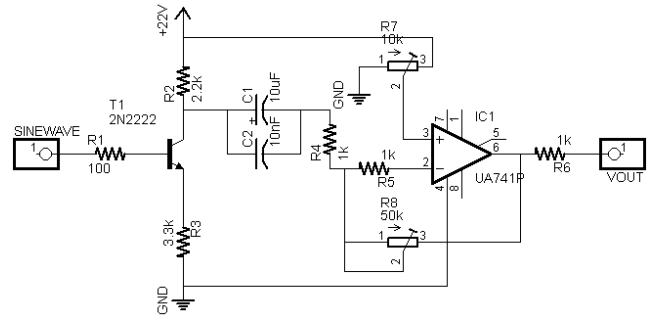
Rangkaian pembangkit sinyal berfungsi sebagai pembangkit sinyal sinus, segitiga dan kotak dengan frekuensi tertentu. ICL8038 adalah IC yang mampu membangkitkan gelombang kotak, gelombang segitiga dan gelombang sinus pada waktu hampir bersamaan. Frekuensi sinyal yang dihasilkan oleh ICL8038 dapat diatur antara 0,001Hz hingga lebih dari 300kHz. Untuk menghasilkan sinyal dengan frekuensi 50Hz, maka ditentukan nilai R_1 dan $R_2 = 2k\Omega$ dan $C = 3.3\mu F$ dengan rangkaian seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Rangkaian Pembangkit Sinyal dengan ICL8038

C. Perancangan Driver Tegangan

Driver tegangan dalam perancangan ini berfungsi sebagai penguat tegangan sinyal sinus, sinyal segitiga dan sinyal kotak keluaran IC. Masing-masing sinyal keluaran memiliki *driver* tegangan yang berbeda. *Driver* tegangan untuk sinyal sinusoidal terdiri dari penguat kelas A dengan sebuah transistor dan sebuah penguat differensial dasar [5]. Rangkaian *driver* tegangan sinyal sinus ditunjukkan dalam Gambar 3.

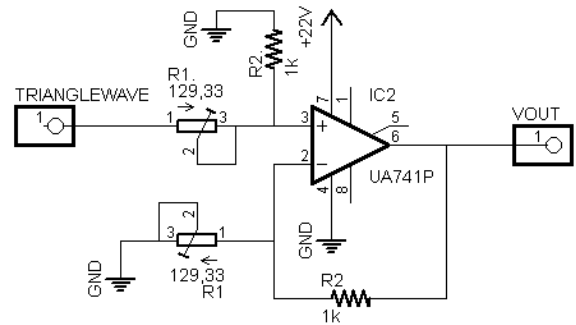


Gambar 3. Rangkaian *driver* tegangan sinus

Bagian *driver* tegangan sinyal segitiga menggunakan jenis penguat differensial dasar, perhitungan penguatan (*Gain*) *driver* tegangan sinyal segitiga menggunakan Persamaan (1):

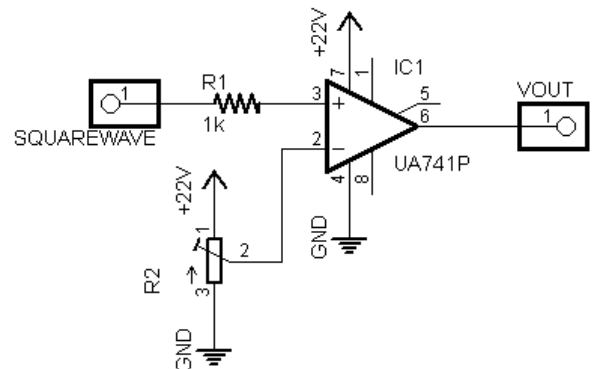
$$V_o = \left(\frac{R_2}{R_1}\right) (V_2 - V_1) \tag{1}$$

Untuk mendapatkan gain sebesar 7,8 kali R_2 ditentukan $1k\Omega$, maka nilai $R_1 = 120\Omega$. Rangkaian *driver* tegangan sinyal segitiga ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Rangkaian *driver* tegangan Segitiga

Bagian *driver* tegangan kotak menggunakan rangkaian komparator untuk menghasilkan sinyal kotak agar amplitudonya mendekati nilai V_{CC} . Rangkaian penguat tegangan sinyal kotak ditunjukkan dalam Gambar 5.



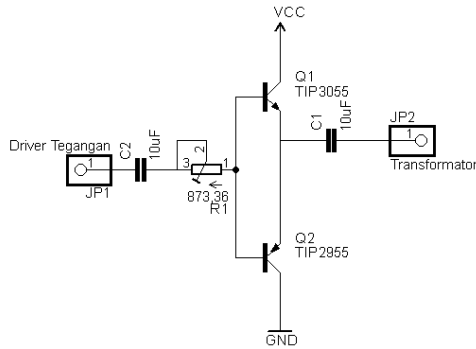
Gambar 5. Rangkaian *driver* tegangan sinyal kotak

D. Perancangan Driver Arus [6]

Perancangan *driver* arus berfungsi untuk menghasilkan tegangan keluaran yang amplitudonya sama dengan tegangan masukan namun dengan kapasitas arus lebih besar. *Driver* arus yang dirancang juga dapat

menghasilkan sinyal dengan siklus positif dan negatif untuk menghasilkan sinyal AC.

Driver arus yang disusun dengan konfigurasi penguat Push Pull kelas B, dalam perancangan ini terdiri dari dua buah transistor jenis NPN tipe TIP3055 dan PNP TIP2955. Rangkaian driver arus ditunjukkan dalam Gambar 6.



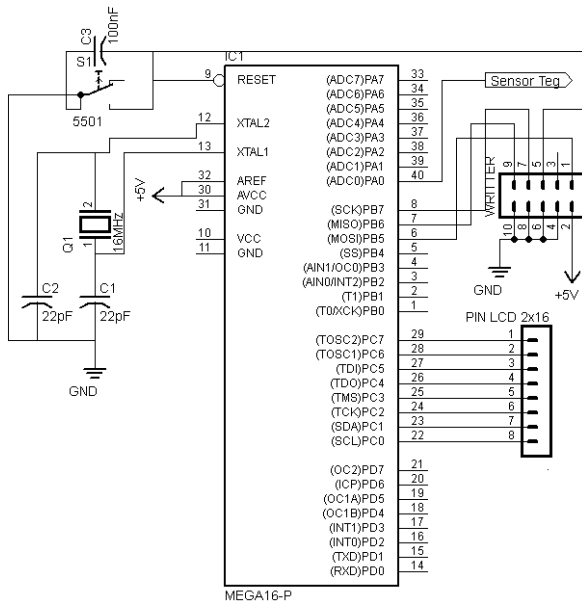
Gambar 6. Rangkaian driver arus

E. Perancangan Sistem Minimum ATMEGA 16 [7]

Microcontroller yang digunakan dalam perancangan ini adalah ATMEGA 16 yang dirangkai dalam sistem minimum microcontroller. Microcontroller berfungsi untuk mengolah data sensor tegangan solar cell sebagai data ADC dan menampilkan hasil pengukuran ke LCD Character 16x2. Sistem minimum ATMEGA 16 ditunjukkan dalam Gambar 7.

Fungsi setiap pin sistem minimum ATMEGA 16 yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Pin A.0 digunakan untuk sensor tegangan.
2. Pin C digunakan sebagai sinyal data LCD 16x2.



Gambar 7. Rangkaian Sistem Minimum ATMEGA 16

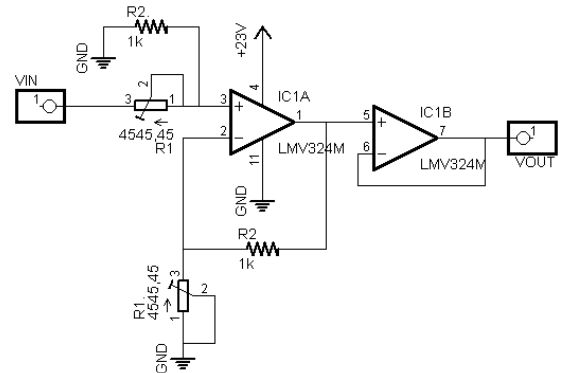
F. Perancangan Rangkaian Sensor Tegangan

Sensor tegangan berfungsi untuk mengukur tegangan yang dihasilkan oleh sel surya. Pada perancangan ini dibuat sensor tegangan yang terdiri dari rangkaian pengondisi sinyal yang berfungsi untuk menurunkan tegangan. Tegangan yang telah diturunkan tersebut kemudian akan diolah sebagai data ADC microcontroller. Rangkaian sensor tegangan ditunjukkan dalam Gambar 8. Nilai R₁ dan R₂ didapat menggunakan persamaan (3):

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_2 - V_1) \tag{3}$$

Dengan nilai V₁ = 0, maka didapatkan:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} \cdot V_2 \tag{4}$$

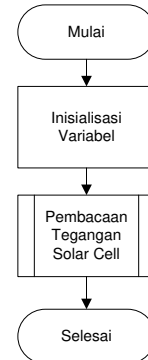


Gambar 8. Rangkaian Sensor Tegangan

Sensor tegangan ini dirancang agar microcontroller dapat memproses tegangan yang besarnya 0V sampai 23V. Jika ditentukan R₂ = 1kΩ, maka didapatkan R₁ = 4,55kΩ dan penguatan (Gain) sebesar 0,22.

G. Perancangan Algoritma Program

Algoritma program merupakan perencanaan program yang akan ditulis ke dalam microcontroller. Program yang dibuat meliputi sub-program sensor tegangan yang ditunjukkan dalam Gambar 9.

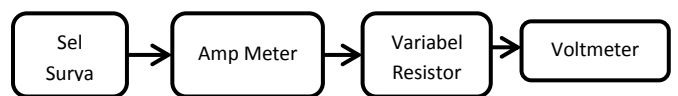


Gambar 9. Flow Chart Algoritma Program

III. PENGUJIAN DAN ANALISIS

A. Pengujian Sel Surya

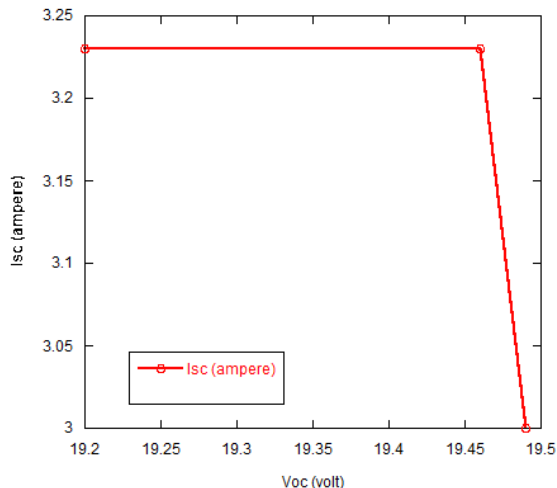
Parameter yang diuji dalam pengujian sel surya 50 Wp tipe polycrystalline adalah tegangan dan arus. Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui tegangan open circuit (V_{OC}) dan arus short circuit (I_{SC}) yang dapat dihasilkan oleh sel surya. Pengujian dilakukan dengan kondisi suhu lingkungan 25°C, saat 1-1.287 AM. Lokasi pengujian berada di 7.949386 LS dan 112.611912 BT. Rangkaian pengujian ditunjukkan dalam Gambar 10.



Gambar 10. Rangkaian Pengujian Sel Surya

Dari hasil pengujian sel surya dapat diketahui bahwa nilai I_{SC} sel surya dapat mencapai 3,25A, sedangkan nilai

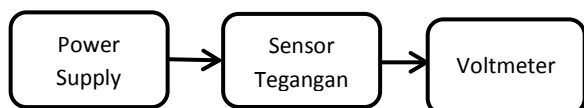
$V_{OC} = 19.49V$. Gambar 11 menunjukkan karakteristik V_{OC} terhadap I_{SC} .



Gambar 11. Hasil Pengujian Sel Surya

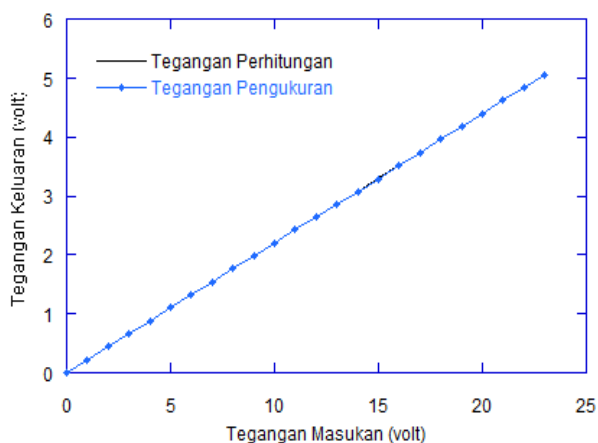
B. Pengujian Rangkaian Sensor Tegangan

Parameter yang diukur dalam pengujian sensor tegangan adalah tegangan yang dihasilkan oleh sel surya. Dalam hal ini, tujuan pengujian adalah untuk mengetahui ketelitian pengukuran sensor tegangan dengan cara membandingkan nilai tegangan perhitungan dengan tegangan pengukuran. Rangkaian pengujian sensor tegangan ditunjukkan dalam Gambar 12.



Gambar 12. Rangkaian Pengujian Sensor Tegangan

Dari hasil pengujian ini didapatkan *error* antara tegangan teori dan tegangan praktek adalah sebesar 0.02%. Grafik pengukuran tegangan teori dan praktek oleh sensor tegangan ditunjukkan dalam Gambar 13.



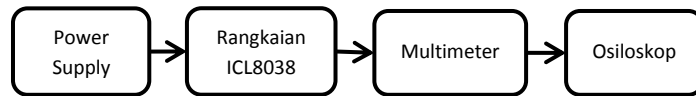
Gambar 13. Grafik Pengukuran Sensor Tegangan

Berdasarkan *error* rata-rata tersebut dapat disimpulkan bahwa sensor tegangan telah sesuai dengan perancangan dan dapat digunakan sebagai alat ukur tegangan sel surya.

C. Pengujian Rangkaian Pembangkit Sinyal dengan ICL8038

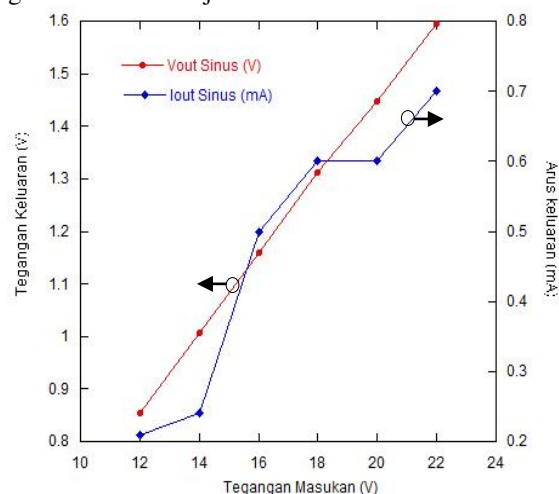
Parameter yang diuji dalam pengujian rangkaian pembangkit sinyal ICL8038 adalah tegangan dan arus keluaran sinyal sinus pada pin 2, sinyal segitiga pada pin 3

dan sinyal kotak pada pin 9 ICL8038. Parameter lain yang diuji adalah frekuensi sinyal keluaran dan bentuk sinyal yang dihasilkan. Sesuai dengan karakteristik yang terdapat pada *datasheet* ICL8038 tegangan sumber yang diberikan ke dalam rangkaian ini adalah antara 10-22V. Cara pengujian ICL8038 ditunjukkan dalam Gambar 14.



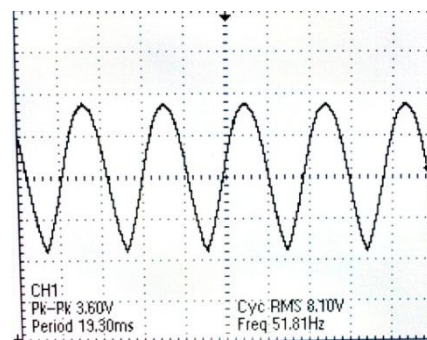
Gambar 14. Rangkaian Pengujian ICL8038

Secara keseluruhan hasil pengujian rangkaian pembangkit sinyal dengan ICL8038 dapat diamati melalui osiloskop. Frekuensi sinyal yang dihasilkan rangkaian ini adalah antara 50,20 hingga 52.30Hz. Pada pengujian sinyal sinus diperoleh karakteristik tegangan dan arus yang mendekati linier, nilai tegangan antara 0.86-1.59V dan nilai arus antara 0,21-0,70mA. Data berupa grafik tegangan dan arus ditunjukkan dalam Gambar 15.



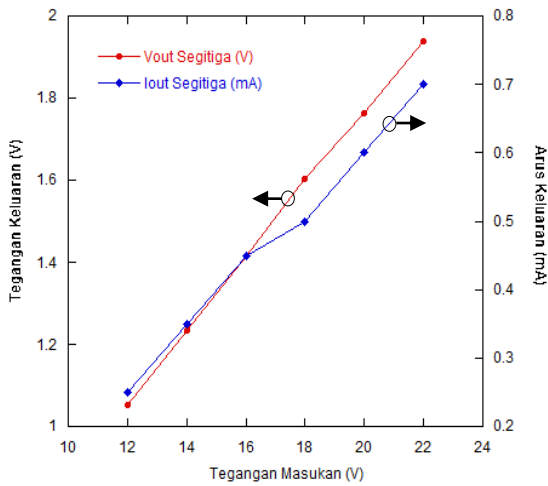
Gambar 15. Hasil Pengujian Tegangan dan Arus Sinyal Sinus

Melalui osiloskop dapat diketahui bahwa sinyal sinus yang dihasilkan ICL8038 memiliki *duty cycle* 50% dan frekuensi sinyal sebesar 50,20Hz. Gambar 16 menunjukkan bentuk sinyal sinusoida keluaran ICL8038 pada osiloskop.



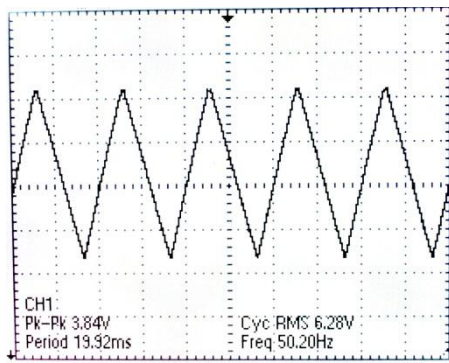
Gambar 16. Bentuk Sinyal Sinusoida ICL8038

Dengan rangkaian yang sama pengujian tegangan dan arus sinyal segitiga menghasilkan nilai tegangan sebesar 1.05-1.94V dan arus sebesar 0.25-0,70mA. Hubungan antara V_{IN} dengan V_{OUT} dan V_{IN} dengan I_{OUT} ditunjukkan dalam Gambar 17.



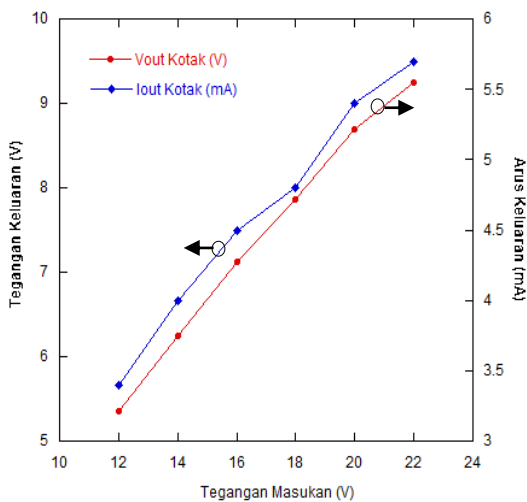
Gambar 17. Hasil Pengujian Tegangan dan Arus Sinyal Segitiga

Bentuk sinyal segitiga juga memiliki *duty cycle* sebesar 50% dengan frekuensi sinyal sebesar 50,20 Hz. Frekuensi sinyal segitiga memiliki nilai yang sama dengan sinyal sinus, hal ini disebabkan karena sinyal sinus pada IC merupakan hasil konversi dari sinyal segitiga. Bentuk sinyal dan frekuensi sinyal segitiga ditunjukkan dalam Gambar 18.

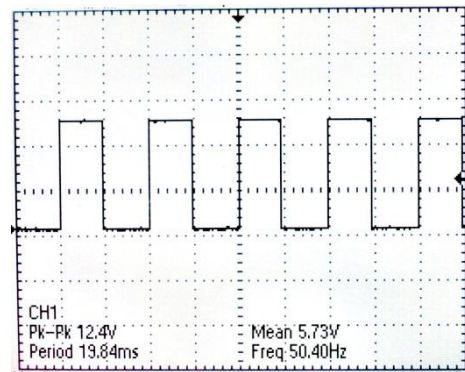


Gambar 18. Bentuk Sinyal Segitiga ICL8038

Sedangkan untuk pengujian tegangan dan arus sinyal kotak diperoleh nilai tegangan antara 5.36-9.24V dan arus 3.4-5.7mA yang mendekati linier dan *duty cycle* 50%, data berupa grafik tegangan dan arus ditunjukkan dalam Gambar 19. Dan bentuk sinyal keluaran pada osiloskop ditunjukkan dalam Gambar 20.



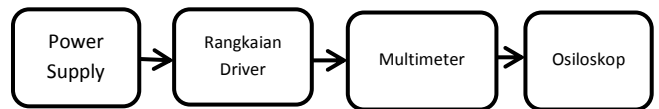
Gambar 19. Hasil Pengujian Tegangan dan Arus Sinyal Kotak



Gambar 20. Bentuk Sinyal Kotak ICL8038

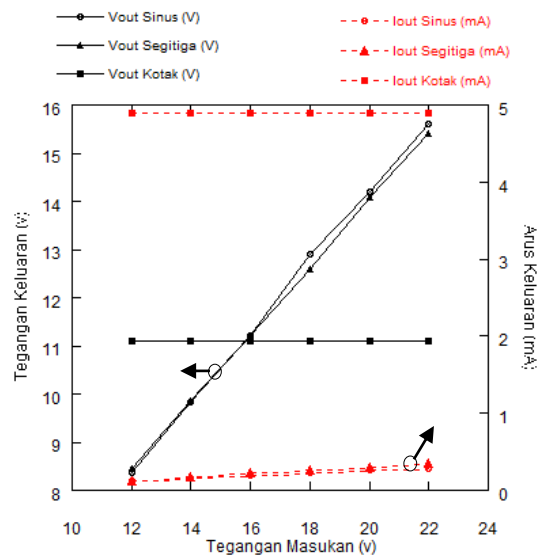
D. Pengujian Rangkaian Driver Tegangan

Parameter yang diuji dalam pengujian rangkaian *driver* tegangan adalah tegangan dan arus keluaran sinyal sinus, sinyal segitiga dan sinyal kotak. Parameter lain yang diuji adalah frekuensi sinyal keluaran dan bentuk sinyal yang dihasilkan. Cara pengujian ICL8038 ditunjukkan dalam Gambar 21.



Gambar 21. Rangkaian Pengujian Driver Tegangan

Driver tegangan sinyal sinus dapat menghasilkan $V_{OUT} = 15,6V$ dan arus keluaran *driver* tegangan sebesar 0,33mA. *Driver* tegangan sinyal segitiga menghasilkan $V_{OUT} = 15,4V$ dan arus keluaran sebesar 0,38mA. *Driver* tegangan kotak menghasilkan $V_{OUT} = 11,1V$ dan arus keluaran sebesar 4,9mA. Pada pengujian ini frekuensi sinyal tidak mengalami perubahan. Data berupa grafik tegangan dan arus ditunjukkan dalam Gambar 22.



Gambar 22. Hasil Pengujian Driver Tegangan

E. Pengujian Rangkaian Driver Arus

Pengujian rangkaian *driver* arus menggunakan penguat Darlington menghasilkan keluaran I_{SC} sinyal sinus, sinyal segitiga dan sinyal kotak adalah sebesar 0,35A. Dua transistor NPN tipe TIP 3055 yang disusun secara seri memberikan penguatan hingga 1062 kali. Konfigurasi *common collector* dengan kaki *collector* kedua transistor yang hubung singkat dengan V_{CC} dan nilai

I_b yang kecil pada satuan mA menghasilkan arus yang mendekati nilai arus sumber sehingga arus yang mengalir konstan.

Pengukuran tegangan keluaran pada kaki *emitter* dengan tegangan masukan pada *basis* adalah keluaran *driver* tegangan tidak mengalami pelemahan yang berarti, tetapi arus yang dihasilkan memiliki kapasitas lebih besar. Tabel 2 menunjukkan data tegangan keluaran *driver* arus.

Tabel 2. Data tegangan keluaran *driver* arus

Jenis Sinyal	V_{IN} (V)	V_{OUT} (V)
Sinyal sinus	15,6	14,9
Sinyal segitiga	15,4	14,8
Sinyal kotak	11,1	10,4

F. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem yang diperoleh dari keluaran rangkain *driver* arus dihubungkan ke masukan *transformator step up* 2 ampere di titik 15V dan keluaran pada *transformator* diambil dari titik 220V menghasilkan tegangan keluaran AC seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran tegangan *transformator*

Jenis Sinyal	Tegangan Masukan (V)	Tegangan Keluaran (V)
Sinyal Sinusoida	15,6	95,5
Sinyal Segitiga	15,4	91,2
Sinyal Kotak	11,1	152

Tegangan keluaran sinyal dari *transformator* tidak dapat mencapai tegangan 220V karena dipengaruhi oleh efisiensi *transformator* dalam perancangan yang tidak ideal. Untuk membuat keluaran tegangan mencapai 220V dimungkinkan dengan membuat *transformator* yang memiliki jumlah lilitan sesuai dengan perhitungan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

1. Perancangan *inverter* 15 volt DC ke 220 volt AC mampu menghasilkan tiga sinyal keluaran, yaitu sinyal sinusoida, sinyal segitiga, dan sinyal kotak dengan frekuensi yang dapat diatur tanpa menggunakan filter. Frekuensi sinyal yang dihasilkan sebesar 50-52Hz.
2. Perancangan sistem *monitoring* proteksi pada *Single Point Smart Grid* menggunakan sensor tegangan untuk mengukur tegangan sel surya. Sensor tegangan sel surya memiliki *error* rata-rata sebesar 0,22% dengan perbedaan tegangan keluaran antara perhitungan dan pengukuran paling besar adalah 0,01V.

3. Perbedaan konversi tegangan sinyal pada *inverter* memberikan keluaran: *driver* tegangan sinyal sinusoida, sinyal segitiga, dan sinyal kotak menghasilkan tegangan rms sebesar 15,6V, 15,4V dan 11,1V. *Driver* arus sinyal sinusoida, sinyal segitiga, dan sinyal kotak mampu mengeluarkan I_{SC} rata-rata sebesar 0,35A. Perancangan *inverter* telah mampu menghasilkan tegangan keluaran dari sinyal sinusoida sebesar 95,5V, sinyal segitiga sebesar 91,2V dan sinyal kotak sebesar 152V.

B. Saran

1. Sistem yang dihasilkan belum bisa menghasilkan sinyal AC sinusoida murni sehingga dapat dikembangkan dengan memperhatikan siklus positif dan negatif sinyal.
2. Sistem ini dapat dikembangkan dengan memperhatikan efisiensi transformator, melakukan perhitungan lilitan dan membuat transformator yang dapat menghasilkan sinyal 220V dengan masukan 15V.
3. Sistem ini dapat dikembangkan dengan *smart metering* sehingga dapat diaplikasikan pada sistem *smart grid*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Nejad, Mohsen Fadee., Amin Mohammad Saberian, dkk. 2013. *Application of Smart Power Grid in Developing Countries. Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO):* 427-431. Langkawi: IEEE.
- [2] Ekanayake, Janaka, dkk. 2012. *SMART GRID: Technology and Applications.* United Kingdom: John Wiley & Sons, Ltd.
- [3] Yulianto, Brian. 2012. *Energi Surya: Alternatif Sumber Energi Masa Depan di Indonesia.* <http://www.alpensteel.com/article/46-102-energi-matahari-surya-solar/2184>. Diakses tanggal 29 Juli 2014.
- [4] Intersil. 1998. ICL8038 Datasheet. <http://alldatasheet.com>. Diakses tanggal 22 Februari 2014.
- [5] Floyd, Thomas L. 2010. *Electronics Fundamental: Circuit, Devices, and Applications.* Pearson Education.
- [6] Bishop, Owen. 2006. *Dasar-dasar Elektronika.* Jakarta: Erlangga
- [7] Atmel Cooperation. 2003. *Atmega16.*