

IMPLEMENTASI ON GRID INVERTER PADA INSTALASI RUMAH TANGGA UNTUK MASYARAKAT PEDESAAN DALAM RANGKA ANTISIPASI KRISIS ENERGI LISTRIK

Selamat Meliala

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Malikussaleh Lhokseumawe
Email: selamat.meliala@unimal.ac.id

Abstrak – Teknologi *renewable energy* sekarang sedang pesat digalakkan, baik secara Nasional maupun Internasional, untuk kebutuhan energi listrik masyarakat. Teknologi yang bersumber dari cahaya matahari ini sedang dalam taraf pengembangan sampai sekarang, sebelum sumber *unrenewable energy*, seperti bahan bakar minyak benar-benar habis. Prediksi dari Dewan Energi Nasional (DEN), Indonesia akan mengalami krisis energi secara besar-besaran pada tahun 2050, dan dampaknya sudah mulai terasa sekarang, sehingga diperlukan energi alternatif pengganti *unrenewable energy*. Pemerintah terus meningkatkan dan mengembangkan aplikasi teknologi energi matahari yang siap pakai dan murah untuk setiap konsumen rumah tangga. Pada penelitian ini dilakukan simulasi model *grid inverter* yang dihubungkan paralel pada instalasi listrik rumah tangga sederhana, menggunakan metode *On Grid Inverter* pada kondisi *Off-Grid Tie* maupun *On-Grid Tie*. Pada model tersebut juga memperlihatkan kondisi arus beban sebelum terpasang dan sesudah terpasang *grid inverter* yang bersumber pada model tegangan dc, yang diumpamakan sebagai model panel sel surya. Arus inverter pada *grid inverter* yang terpasang ke beban akan mengkompensasikan arus beban dengan mengecilkan arus *grid* yang mengalir, sehingga tegangan pada *grid* akan stabil apabila kondisi beban mencapai kondisi maksimum. Pada saat kondisi sumber PLN padam, *grid inverter* akan bekerja memberi *supply* tegangan, sehingga beban rumah tangga dapat terlayani secara kontinyu dan hemat listrik. Ini merupakan teknologi *renewable energy* yang akan diandalkan untuk menghadapi krisis energi nasional masa yang akan datang. Hasil simulasi diperoleh arus *grid* 4 A sebelum pemasangan *grid inverter*, dan 2,43 A setelah pemasangan *grid inverter*. Pembayaran rekening listrik pada beban 100% adalah Rp 199.764,- dan pada beban listrik 80% adalah Rp 217.653,-.

Kata-kata kunci: *On Grid Inverter, Panel Surya, Grid-Tie System*

Abstract – Renewable energy technology is now being promoted rapidly, both nationally and internationally, for people's electricity needs. This technology that comes from sunlight is in a stage of development until now, before unrenewable energy sources, such as fuel oil, are completely depleted. Predictions from Dewan Energi Nasional (DEN), Indonesia will experience a massive energy crisis in 2050, and the impact is starting to be felt now, so an alternative energy substitute for unrenewable energy is needed. The government continues to improve and develop the application of ready-to-use and inexpensive solar energy technology for every household consumer. In this research, a simulation of a grid inverter model that is connected parallelly to a simple household electrical installation, using the On Grid Inverter method in Off-Grid Tie and On-Grid Tie conditions. The model also shows the load current conditions before it is installed and after the inverter grid is installed which comes from the dc voltage model, which is likened to a model of a solar cell panel. The inverter current on the grid inverter attached to the load will compensate for the load current by reducing the grid current flowing, so that the voltage on the grid will be stable when the load conditions reach the maximum condition. When the PLN source goes out, the grid inverter will work to supply voltage, so that household loads can be served continuously and save electricity. This is a renewable energy technology that will be relied on to face the future national energy crisis. The simulation results obtained a grid current of 4 A before installing the grid inverter, and 2.43 A after installing the grid inverter. Payment for electricity bills at 100% load is Rp. 199,764, - and for electricity load at 80% is Rp. 217,653.

Key words: *On Grid Inverter, Panel Surya, Grid-Tie System*

I. PENDAHULUAN

Sumber energi listrik *unrenewable* semakin lama semakin berkurang. Hal ini disebabkan oleh pemakaian energi yang tidak begitu ekonomis dan kurang efisien, dikarenakan jumlah penduduk di Indonesia yang semakin meningkat, sementara prediksi jumlah

pertumbuhan pemakaian energi listrik tidak proporsional terhadap jumlah pembangkit energi listrik.

Pemerintah menginstruksikan program upaya penghematan energi listrik sebesar 20%, dalam instruksi presiden No. 13 tahun 2011, yaitu memenuhi kebutuhan energi listrik untuk ketahanan energi nasional sampai tahun 2020 serta melakukan kebijakan manajemen energi nasional sampai tahun 2050. Dewan Energi

Nasional (DEN) memprediksi kebutuhan energi listrik sesuai dengan pertumbuhan pemakai energi listrik yang semakin besar, seperti industri, kebutuhan hidup manusia, dan lain-lainnya. Oleh karena itu, dilakukanlah program konservasi energi pada tiap-tiap pemakai energi listrik, yang salah satunya menciptakan alat untuk kompensasi beban listrik yang dapat menghemat energi listrik.

Dalam hal ini, konsep *renewable energy* dapat digunakan dalam menangani kekurangan energi listrik nasional di masa depan. Para *engineer* listrik terus mengembangkan konsep *renewable energy*, salah satunya menggunakan panel sel surya.

Energi cahaya matahari yang diubah ke energi listrik berkurang dikarenakan cahaya yang sampai ke permukaan bumi hanya tersisa sekitar 120 W/m². Banyak teknologi digunakan untuk meningkatkan penyerapan energi cahaya matahari, yaitu mendisain ulang panel sel surya dengan bahan semikonduktor yang andal dan juga mendisain panel sel surya dengan cara memparalelkan jumlah panel sel surya menggunakan teknologi *Maximun Power Point Tracking* (MPPT).

Namun karena pembelian suatu panel sel surya yang digolongkan masih mahal bagi konsumen listrik yang kurang mampu. Teknologi konversinya yang begitu mahal menjadikan alat yang bisa digunakan energi listriknya, dan tidak membangkitkan harmonisa, merupakan dampak negatif dari teknologi tersebut. Kehidupan masyarakat khusus di pedesaan biasanya menggunakan suatu alat yang praktis, yaitu mengubah energi listrik DC menjadi AC yang sudah siap diaplikasikan, dan tidak menimbulkan masalah pada instalasi listriknya dikarenakan alat listrik yang dirancang masih belum sempurna.

Dalam penelitian ini dirancang sebuah model yang dapat mengurangi arus beban listrik menggunakan *grid inverter* yang dihubungkan ke instalasi rumah tangga masyarakat kurang mampu, dan disebut *Solar Home System* (SHS). Diharapkan SHS dapat bekerja sesuai dengan fungsinya, dengan tidak menghasilkan tegangan harmonisa yang tinggi seperti *grid inverter* yang sudah pernah didesain pada peneliti terdahulu.

Rancangan model *grid inverter* ini disimulasikan pada sebuah komputer *stand alone*. Model dapat diparelelkan ke beban dengan tegangan keluaran panel sel surya yang memenuhi syarat untuk diparelelkan, serta tidak membangkitkan tegangan harmonisa yang tinggi. Pada saat sudah terhubung pada tegangan grid, sebuah alat inverter yang mengkonversikan tegangan DC menjadi tegangan AC dapat mengurangi harmonisa pada tegangan grid beban rumah tangga. Para *engineer* listrik sudah banyak melakukan penelitian untuk mengurangi harmonisa pada output inverter tersebut, dengan membuat suatu filter output aktif maupun pasif dengan topologi yang beraneka ragam.

Perkembangan teknologi *grid inverter* ataupun *Grid-Tie System*, yang dihubungkan ke instalasi rumah tangga sudah banyak dilakukan dengan sumber *renewable energy* atau istilahnya *hybrid generator*. Teknologi *hybrid* yaitu menggabungkan 2 sumber

pembangkit tegangan yang berasal dari energi angin (*wind turbin*) dan energi cahaya matahari (panel sel surya). Kedua pembangkit tersebut mempunyai bentuk gelombang tegangan berbeda berupa tegangan AC maupun tegangan DC. Dengan kemajuan teknologi elektronika daya, maka kedua sumber tersebut dapat dihubungkan sehingga menghasilkan tegangan AC.

Namun permasalahan kualitas daya yang disalurkan ke instalasi rumah tangga, teknologinya masih terus berkembang. Oleh karena itu, teknologi yang menggunakan *inverter* untuk tiap-tiap sumber *renewable energy* sudah mencakup keseluruhan sistem kelistrikan yang terhubung pada *Grid-Tie System*. Sehingga dalam hal ini, *Grid-Tie System* juga bisa disebut *grid inverter*. Arus yang mengalir ke beban bisa berkurang dengan adanya *grid inverter* pada instalasi rumah tangga yang terhubung dengan sumber listrik PLN.

Oleh karena itu, pentingnya program kerja sama antara pemerintah, yang dalam hal ini PLN, sebagai produsen listrik, dengan lembaga pendidikan tinggi serta masyarakat dalam melakukan penelitian di bidang energi listrik, yaitu dalam hal menangani krisis energi dan manajemen energi sebagai upaya meningkatkan ketahanan energi nasional. Untuk itu diperlukan program penelitian berkelanjutan terhadapantisipasi krisis energi listrik nasional, salah satunya program hemat energi listrik/daya listrik pada rumah tangga.

Permasalahan hemat daya listrik merupakan hal yang perlu diangkat kembali dalam penelitian karena energi harus berkelanjutan terhadap kelangsungan kehidupan manusia di muka bumi. Pemakaian *renewable energy* bersumber dari cahaya matahari tidak hanya diperuntukkan untuk kehidupan rumah mewah saja, tetapi mengingat krisis sudah mendekati ambang batas krisis energi dunia pada tahun 2050, maka tiap-tiap negara berusaha mengembangkan panel sel surya dengan harga dan pirantinya yang sudah terjangkau untuk mengimbangi pemakaian energi listrik di rumah, khususnya rumah tangga yang kurang mampu. Berdasarkan hal tersebut diatas, maka penelitian dilakukan dengan merancang suatu model sistem untuk pemakaian 2 sumber energi listrik yang bersumber dari PLN dan cahaya matahari, dimana energi matahari dikonversi menjadi energi listrik bertegangan AC (*Grid-Tie System*). Jika model sistem ini dapat direalisasikan, maka upaya pemerintah dalam menangani krisis energi listrik sudah dapat diatasi di *Era Revolusi Industry 4.0*.

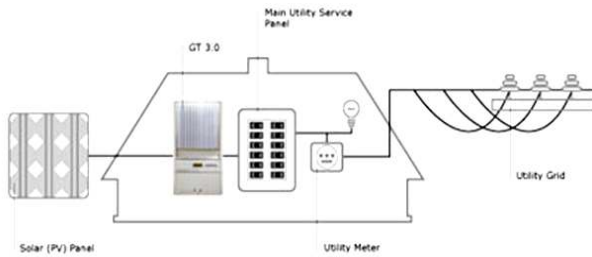
II. METODOLOGI

A. Solar Home System (SHS)

Pada dasarnya, konsep pemakaian SHS energi listrik rumah tangga yang bersumber dari cahaya matahari sudah lama dikembangkan oleh para *engineer* listrik. Namun karena modul panel sel surya yang begitu mahal maka teknologi ini kurang populer untuk pemakaian listrik di rumah tangga, dan juga *output* daya listrik masih digolongkan sangat kecil dikarenakan bahan

panel sel surya dari silikon masih belum optimal untuk mengkonversikan energi cahaya matahari, sehingga diperlukan bahan semikonduktor yang dapat menyerap cahaya dan energi matahari yang dapat menghilangkan *losses* dari konversi energi cahaya tersebut.

Konsep dari SHS atau *Grid-Tie System* seperti diperlihatkan pada Gambar 1.

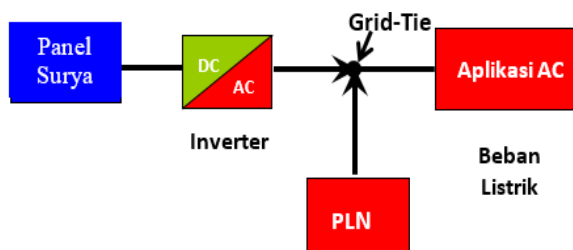


Gbr. 1 Konsep Dasar Grid-Tie System

Konsep di atas merupakan teknologi konversi tegangan DC menjadi AC menggunakan inverter. Koneksi antara sumber tegangan yang disuplai dengan sumber tegangan suplai lainnya (paralel kedua sumber tegangan) ini dinamakan tegangan *grid* atau disebut *Grid-Tie*. Syarat dari mengkoneksikan kedua sumber tegangan suplai AC yang adalah sebagai berikut:

- Bentuk gelombang tegangan harus sama
- Besaran frekuensi tegangan harus sama
- Besaran fasa urutan positif harus sama

Diagram blok *Grid-Tie System* dengan sumber suplai tegangan AC yang berbeda menjadi satu sumber tegangan AC yang dapat digunakan pada aplikasi beban AC, seperti diperlihatkan pada Gambar 2.



Gbr.2 Diagram Blok Grid-Tie System

Gambar di atas memperlihatkan sumber tegangan suplai listrik yang bersumber dari PLN, terhubung paralel dengan Modul Solar Panel. Energi Panel sel surya bersumber dari cahaya matahari, menghasilkan keluaran tegangan DC yang kemudian tegangan DC tersebut dikonversikan menggunakan inverter, sehingga menghasilkan tegangan keluaran AC, dan beban listrik terkompensasi tegangan yang bersumber dari kedua sumber tegangan tersebut.

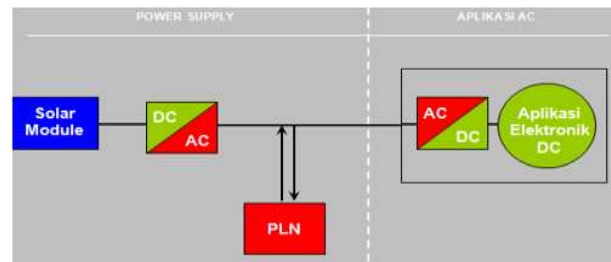
B. SHS atau Grid-Tie System

Grid-Tie System, dalam pemanfaatan cahaya matahari yang diubah dari tegangan DC ke AC, dibagi dua yaitu:

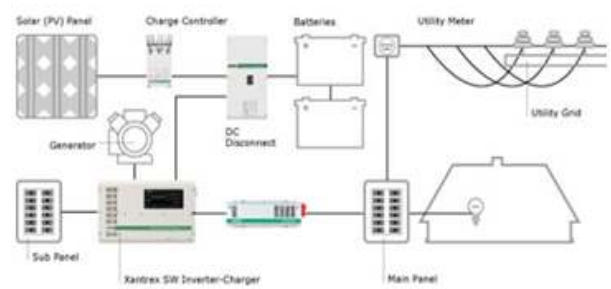
- *On Grid-Tie System*
- *Off Grid-Tie System*

Pada *On Grid-Tie System*, cahaya matahari diubah menjadi tegangan DC murni melalui *Solar Module*. Kemudian tegangan DC yang murni diubah pada blok inverter dan menghasilkan tegangan AC. *Output* tegangan AC ini dihubungkan dengan sumber listrik PLN sehingga dapat menyuplai daya listrik. Sumber tegangan interkoneksi AC diubah kembali menjadi tegangan DC menggunakan konverter, sehingga menghasilkan tegangan DC yang murni yang digunakan pada aplikasi beban DC.

Blok diagram *On Grid-Tie System* dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.



Gbr. 3 Diagram Blok On Grid-Tie System



Gbr. 4 Diagram Blok On Grid-Tie System beserta Battery Backup

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa *Solar Module*, selain berfungsi menyuplai tegangan DC, juga mengisi arus ke baterai sampai penuh, dan disaat kondisi malam ataupun sumber PLN padam, baterai akan berfungsi sebagai penyuplai tegangan DC.

Gambar 5 dan 6 merupakan aplikasi SHS dan *Solar Panel Grid-Tie System* pada instalasi perumahan pedesaan yang terisolir dari sumber listrik PLN, dan aplikasi SHS instalasi rumah mewah.

C. Panel Sel Surya

Panel surya adalah alat yang dapat mengkonversikan energi cahaya matahari menjadi tenaga listrik. Listrik yang dihasilkan oleh panel surya adalah listrik arus searah murni (DC), yang pada umumnya merupakan tegangan DC 12 V untuk panel surya ukuran kecil (≤ 130 Wattpeak), dan 24 V untuk ukuran yang standar (>130 Wattpeak). Wattpeak (Wp) adalah daya yang dihasilkan oleh panel sel surya dalam keadaan optimum karena kondisi cahaya dan panas.

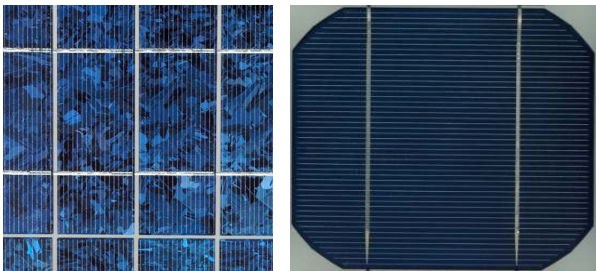
Gambar 7 adalah jenis bahan semikonduktor yang digunakan pada panel sel surya.



Gbr. 5 Aplikasi SHS rumah tangga kurang mampu

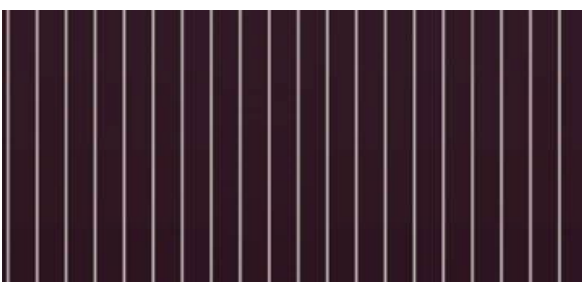


Gbr. 6 Aplikasi SHS Rumah Tangga Mewah



(a)

(b)



(c)

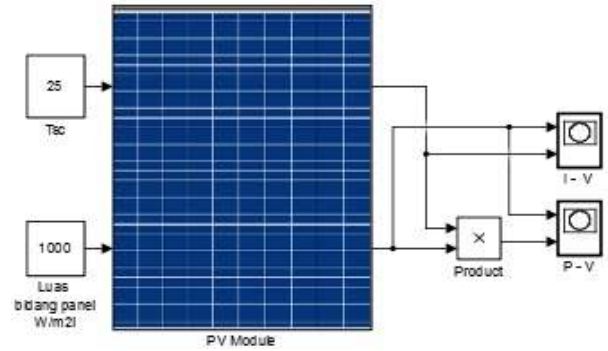
Gbr. 7 Tiga Jenis Bahan Silikon Panel Surya:
(a) Polychrystalline Silicon; (b) Monocrystalline Silicon; (c) Amorphous Silicon

Dari 3 jenis bahan panel sel surya diatas, masing-masing mempunyai kelebihan dan kelemahan. Kelebihan dan kelemahan tersebut seperti diperlihatkan pada Tabel 1.

Gambar 8 merupakan *simulink* model modul panel sel surya yang mempunyai daya optimun 200 Watt, tegangan 26,4 V, dan arus maksimum 7,58 A.

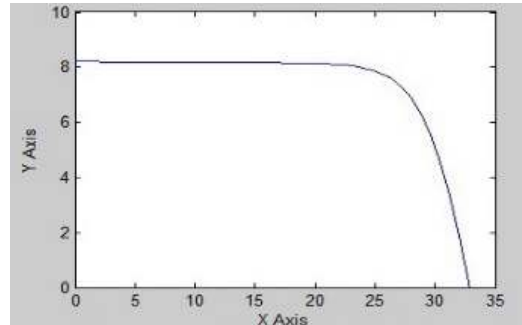
Tabel I
Kelebihan dan Kekurangan 3 Jenis Bahan Sel Surya

Solar Module	Efisiensi (%)	Umur	Harga	Daya/Area
Mono-chrystalline	15-18	25 tahun 90% daya rata-rata, 30 tahun 80% daya rata-rata	Mahal	Tinggi
Poly-chrystalline	13-15	10 tahun 90% daya rata-rata, 25 tahun 80% daya rata-rata	Sedang	Sedang
Amorphous	5-8	10 tahun	Murah	Rendah

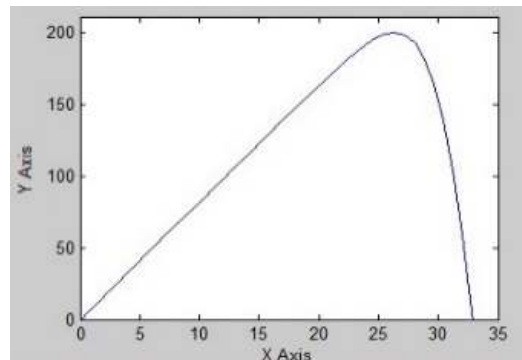


Gbr. 8 Simulasi Modul Solar 200 Watt

Gambar 9 adalah grafik output tegangan dan arus (V-I), serta daya dan tegangan (P-V) yang dibangkitkan dari hasil simulasi panel surya.



(a)

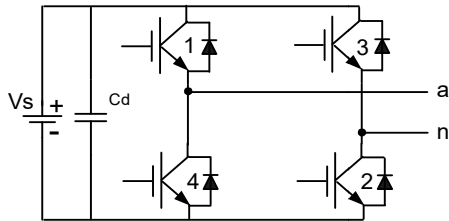


(b)

Gbr. 9 Grafik Hasil Simulasi Solar Module 200 Watt:
(a) V-I; (b) P-V

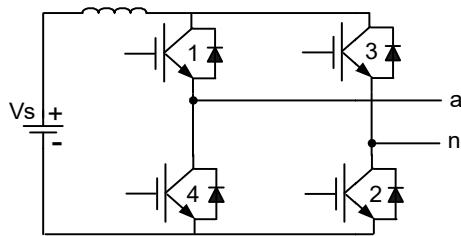
D. Inverter

Inverter adalah peralatan elektronika daya yang berfungsi mengubah tegangan searah (DC) menjadi tegangan bolak-balik (AC). Tipe *inverter* ada dua jenis, yaitu *inverter* sumber tegangan (VSI) dan *inverter* sumber arus (CSI). Inverter VSI seperti diperlihatkan pada Gambar 10 dibawah ini.



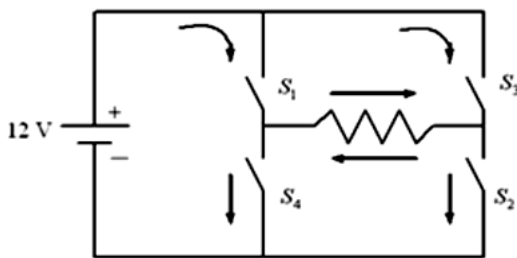
Gbr. 10 Inverter Voltage Source Inverter(VSI)

Inverter CSI pada *dc bus* dilengkapi dengan induktansi seperti diperlihatkan pada Gambar 11.



Gbr. 11 Inverter Current Source Inverter (CSI)

Tegangan *output inverter* dapat berupa tegangan yang dapat diatur dan tegangan yang tetap. Sumber tegangan *input inverter* dapat menggunakan baterai, tenaga surya atau sumber tegangan DC yang lain. *Inverter* gelombang penuh kerjanya seperti 4 saklar membuka dan menutup, seperti diperlihatkan pada Gambar 12.



Gbr. 12 Rangkaian Inverter seperti kerja saklar

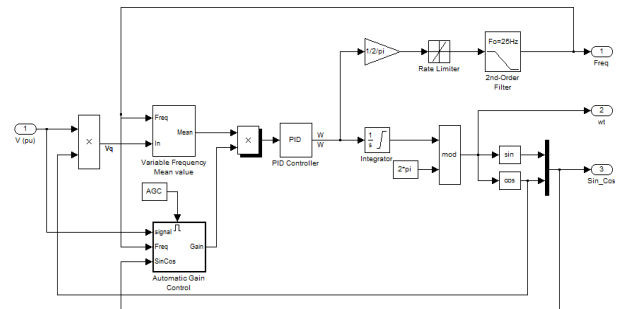
E. Phase Locked Loop

Phase Locked Loop (PLL) adalah sistem kontrol yang sifatnya tertutup. Sistem kontrol tertutup ini memiliki rangkaian penghubung antara *input* dan *output*, yaitu sebagai elemen umpan balik yang berfungsi untuk membandingkan harga *input* dan *output* pada sistem.

Pada sistem pengaturan, harga sesaat dari *output* senantiasa dinilai dan dibandingkan dengan harga sesaat *input* yang ingin dikontrol. Tegangan 1 fasa pada suplai dikirim ke blok kontrol PLL untuk menyinkronkan

semua komponen fundamental perpotongan nol (*zero crossing*).

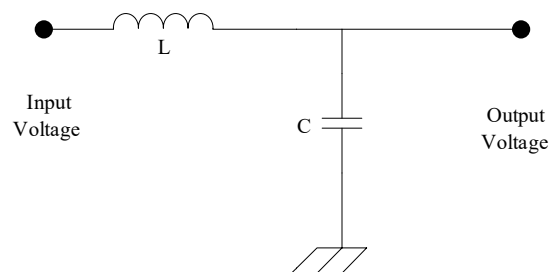
Blok rangkaian kontrol PLL diperlihatkan pada Gambar 13. Pada saat terjadi jatuh tegangan beban sebagai referensi *input* maka nilai *input* sesaat dikontrol menggunakan blok *Automatic Gain Control* (AGC) ke sistem untuk membandingkan sinyal *input* dc, sehingga mengeluarkan sinyal dc dan menghasilkan nilai *error*. Nilai *error* tersebut dimasukkan ke *PID* untuk penguatan sinyal *dc*.



Gbr. 13 Blok Phase Locked Loop

F. Filter Output Inverter

Rangkaian filter *output* ini digunakan untuk menghilangkan *noise* frekuensi tinggi dan harmonisa yang dihasilkan oleh pengaruh *switching* pada saklar semikonduktor *inverter*. Rangkaian filter ini juga disebut filter *output inverter*, seperti diperlihatkan seperti Gambar 14 sebagai berikut.



Gbr. 14 Rangkaian Filter Output Inverter

Untuk menentukan parameter *LC* dari filter *output inverter* dapat digunakan Persamaan 1.

$$f_c < \frac{1}{10} f_{sw} \tag{1}$$

dengan f_c adalah frekuensi *carrier*, dan f_{sw} adalah frekuensi *switching*.

Untuk mendapatkan besaran *L*, digunakan Persamaan 2.

$$L < \frac{0,03U_{inv}}{2 \pi I_{Lmax}} \tag{2}$$

dengan *L* adalah induktor filter *output*, I_{Lmax} adalah arus maksimum induktor filter *output*, dan U_{inv} adalah tegangan *output inverter*.

Setelah diperoleh nilai L , maka nilai tersebut dimasukkan ke Persamaan 3 untuk mendapatkan nilai kapasitor dari filter *output* sebagai berikut.

$$C < \frac{1}{(2\pi f c)^2 L} \tag{3}$$

dengan C adalah kapasitor filter *output*.

G. Total Distorsi Harmonisa

Kandungan distorsi harmonisa total, atau *Total Harmonic Distortion* (THD), pada komponen fundamental menurut Standar IEEE 519-1992 adalah persentase total distorsi harmonisa tegangan dan arus, ditentukan dengan Persamaan 4,

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^h V_h^2}}{V_1} \times 100\% \tag{4}$$

dengan V_h adalah komponen harmonisa tegangan ke- h , dan V_1 adalah tegangan frekuensi fundamental (rms), dan Persamaan 5,

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^h I_h^2}}{I_1} \times 100\% \tag{5}$$

dengan I_h adalah komponen harmonisa arus ke- h , dan I_1 adalah arus frekuensi fundamental (rms).

Total distorsi harmonisa atau cacat gelombang *sinusoidal*, menurut Standar IEEE 519-1992, seperti diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel II
Batas Distorsi Harmonisa Arus
untuk Sistem Tegangan 120 V sampai 69 kV

I_{sc}/I_L	Maximum Harmonic Current Distortion in Percent of I_L					THD (%)
	Individual Harmonic Order (Odd Harmonic)					
	<11	11≤h≤17	17≤h≤23	23≤h≤35	35≤h	
<20	4	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

THD arus harmonisa urutan genap dibatasi 25% dari harmonisa urutan ganjil diatas. Distorsi arus yang disebabkan sebuah penyearah setengah gelombang dc tidak diizinkan, atau tidak termasuk pada tabel diatas. Semua peralatan tenaga dibatasi untuk besar distorsi arus tersebut tanpa memperhatikan aktual I_{sc}/I_L . I_{sc} adalah arus maksimum short circuit PCC, dan I_L adalah arus maksimum permintaan beban (komponen frekuensi fundamental) di PCC.

Standar pembatasan distorsi tegangan di PCC seperti diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel III
Batas Distorsi Tegangan

Bus Voltage at PCC	Individual Voltage Distortion (%)	THD (%)
69 kV and below	3.0	5.0
69.001 kV through 161 kV	1.5	2.5
161.001 kV and above	1.0	1.5

H. Perhitungan Tagihan Rekening Listrik

Perhitungan pemakaian daya listrik selama sebulan, yang menggunakan kWh meter konvensional, masih digunakan terutama pada rumah masyarakat pedesaan yang kurang mampu, yang berada dalam golongan R1 450 VA dan R1 900 VA bersubsidi. Tarif Dasar Listrik untuk pelanggan listrik berdasarkan ketentuan PLN dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel IV
Tarif Dasar Listrik Prabayar

Golongan	Kondisi	Tarif (Rp/kWh)
R1 450 VA	Subsidi	415
R1 900 VA subsidi khusus bagi rakyat miskin	Subsidi	605
R1 900 VA rumah tangga mampu	Non subsidi	1352
R1 1300 VA	Non subsidi	1467,28
R1 2200 VA	Non subsidi	1467,28
R-2/3500 VA, 4400 VA, 5500 VA	Non subsidi	1467,28
R-3/6600 VA kWh atas	Non subsidi	1467,28

Biaya pembayaran pelanggan listrik dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

1. Tarif berlaku; berdasarkan ketentuan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia.
2. Pilih Batas Daya Pemakaian; dalam hal ini pemakaian daya khusus rumah tangga miskin sekitar 450 VA dan 900 VA.
3. Persentase Biaya Pajak Penerangan Jalan (PPJ)
4. Perhitungan Biaya Administrasi Operator
5. Biaya Beban;

Biaya beban tergantung pada batas daya terpasang yang digolongkan dalam rumah tangga miskin, untuk batas daya 450VA dan 900VA, adalah tetap, yaitu:

 - Batas daya 450 VA:
Rp 11.000,00 × 450/1000 = Rp 4.950,00.
 - Batas daya 900VA:
Rp 20.000,00 × 900/1000 = Rp 18.000,00.
6. Perhitungan Biaya Materai

Biaya materai berlaku umum untuk semua transaksi keuangan, dengan besaran sebagai berikut:

 - Transaksi sampai dengan Rp 250.000,00 adalah Rp 0,00.
 - Transaksi > Rp 250.000,00 – Rp 1.000.000,00 adalah Rp 3.000,00.
 - Transaksi > Rp 1.000.000,00 : Rp 6.000,00

I. Data Instalasi Rumah Tangga

Setelah melakukan survey dilapangan, pembagian kuisisioner, serta melakukan wawancara dan pengukuran pemakaian beban listrik, maka diperoleh data sekunder dan data primer yang kemudian dipilah untuk kebutuhan penelitian yang perlukan. Data-data tersebut seperti diperlihatkan pada Tabel 5.

Tabel V
Data Instalasi Rumah Tangga

No.	Uraian	Jenis
1	Instalasi Kabel	NYA 2 x 2,5 mm ²
2	Kapasitas Daya	4 A
3	Breaker Schneider	4 A
4	kWh meter (Smart)	Prabayar (Analog)

J. Data Beban Listrik

Data beban listrik pemakaian sehari-hari, yang diperoleh pada beban rumah R1 yang kurang mampu dan subsidi, seperti diperlihatkan pada Tabel 6.

Tabel VI
Data Beban Listrik Rumah Tangga Kurang Mampu (900 Watt)

No.	Jenis Beban	@Daya Beban (Watt)	Jumlah Beban	Total Beban (Watt)
1	TV	150	1	150
2	Lampu (LHE)	5	5	25
3	Lampu (LHE)	14	8	112
4	Rice Cooker	300	1	300
5	Setrika Listrik	300	1	300
6	Kipas Angin	70	1	70
7	Dispenser	300	1	300
8	Blender	110	1	110
Total Daya Keseluruhan (Watt)				1.367

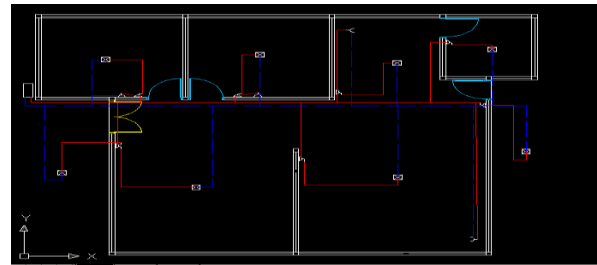
Pemakaian beban listrik tidak selamanya digunakan dalam kondisi jumlah total daya maksimum dalam 24 jam dikarenakan kemampuan pelanggan rumah yang kurang mampu hanya dibatasi pemakaian beban listrik maksimum 900 Watt. Jadi konsumen listrik mengatur pemakaian beban listrik menggunakan total beban sesuai dengan batas beban listrik kemampuan maksimum yang disediakan PT. PLN Lhokseumawe.

K. Instalasi Rumah Tangga Sederhana Kurang Mampu

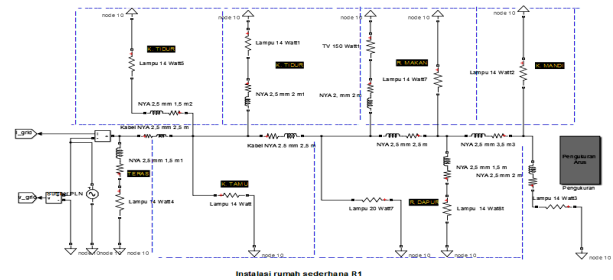
Gambar 15 adalah denah instalasi listrik rumah tangga kurang mampu (tampak atas). Garis warna merah dan biru adalah jalur instalasi listrik yang masuk ke dalam ruangan, dan tanda petak putih bersilang adalah letak posisi lampu listrik rumah tangga sederhana.

L. Simulink Model Instalasi dan Beban Rumah Tangga

Rangkaian listrik untuk model simulink instalasi rumah tangga sederhana kurang mampu, seperti diperlihatkan pada Gambar 16.



Gbr. 15 Instalasi Rumah Tangga Kurang Mampu (tampak atas)



Gbr. 16 Model Simulink Instalasi Rumah Tangga

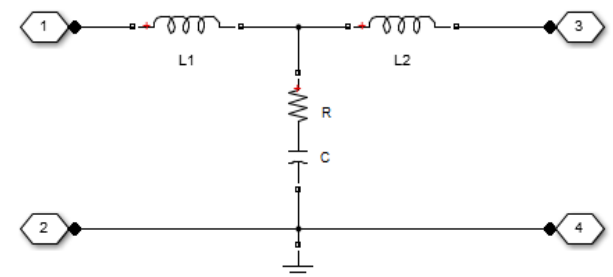
M. Model Simulink Grid Inverter

Model *Simulink Grid Inverter* yang digunakan bertujuan untuk mengkompensasi arus *grid* maksimum yang mengalir pada beban rumah tangga yang kurang mampu. Model simulink ini seperti diperlihatkan pada Gambar 17.

```
function a = fcn(x,ma,shift)
%#codegen
shift_k=shift*pi/180; %converter degree in rad/s
a = (ma*(sin((x)+shift_k))); %reference voltage
```

Gbr. 17 Model Simulink Grid Inverter

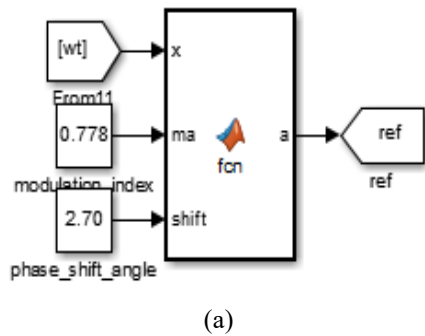
Filter *output* yang digunakan adalah filter LCL yang bertujuan untuk mengurangi distorsi tegangan yang keluar dari rangkaian saklar elektronika daya, karena hasil dari *switching device* akan menghasilkan harmonisa tegangan yang tinggi sehingga nantinya mempengaruhi hasil dari koneksi *grid inverter* ke instalasi rumah tangga. Untuk menentukan besaran filter *output* ini berdasarkan Persamaan 1, 2, dan 3, seperti diperlihatkan pada Gambar 18.



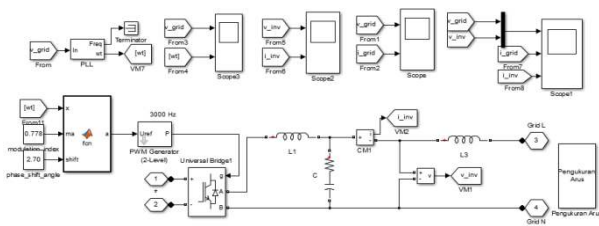
Gbr. 18 Model Filter Output

N. Model Simulink PLL

Model kontrol PLL berfungsi untuk menghasilkan pergeseran fasa yang berasal dari tegangan *grid inverter* sumber tegangan PLN yang masuk ke rumah tangga (*grid tie on*). Fasa PLN dan indeks modulasi merupakan pengaturan dari amplitudo modulasi yang disinkronkan dengan PLL untuk menghasilkan tegangan referensi keluran dari PLL. Blok PLL ini merupakan kontrol rangkaian terbuka (*open loop*). Pengaturan sinkronisasi tersebut menggunakan intruksi Matlab yang bersifat manual dengan cara mengatur pergeseran sudut fasa yang dimasukkan ke dalam blok PLL, seperti diperlihatkan pada Gambar 19.



(a)



(b)

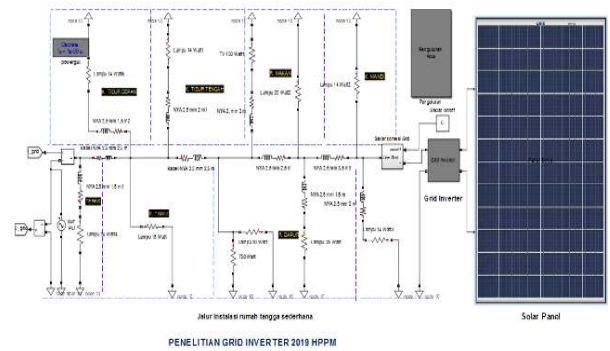
Gbr. 19 Blok diagram PLL: (a) Model Simulink PLL; (b) Script Instruksi Matlab pada Blok PLL

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

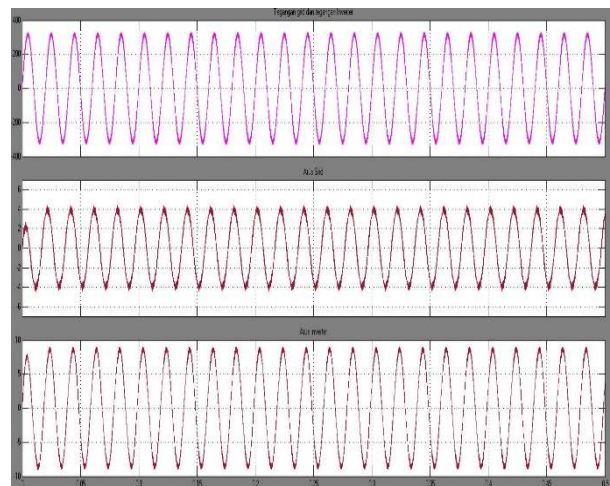
A. Simulasi Pemakaian Grid Inverter pada Rumah Tangga

Pada rangkaian jaringan instalasi rumah tangga kurang mampu, saklar *switching off* dalam kondisi 0, yang berarti *grid inverter* tidak terhubung ke instalasi rumah tangga, dan kondisi saklar *switching on grid inverter* terhubung pada instalasi rumah tangga. Dalam hal ini, besaran daya yang mengalir ke beban rumah tangga diatur kondisi daya maksimum pada 900 Watt, atau dengan besaran arus 4 A dan tegangan instalasi rumah tangga 220 V. Blok simulasi panel sel *switching off* dan on seperti diperlihatkan pada Gambar 20.

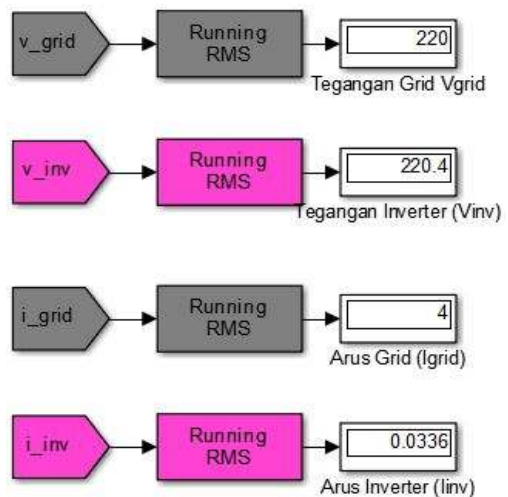
Gambar 21 diperlihatkan hasil simulasi panel sel *switching* dalam bentuk gelombang tegangan dan arus sinusoidal. Hasil simulasi memperlihatkan besaran arus sebesar 4 A dan tegangan sebesar 220 V dengan daya beban maksimum 900 Watt.



Gbr. 20 Simulasi Kondisi Panel Sel *Switching Off* dan *On*



Gbr. 21 Gelombang Tegangan Grid, Tegangan inverter, Arus inverter dan Arus grid kondisi *switching Off*

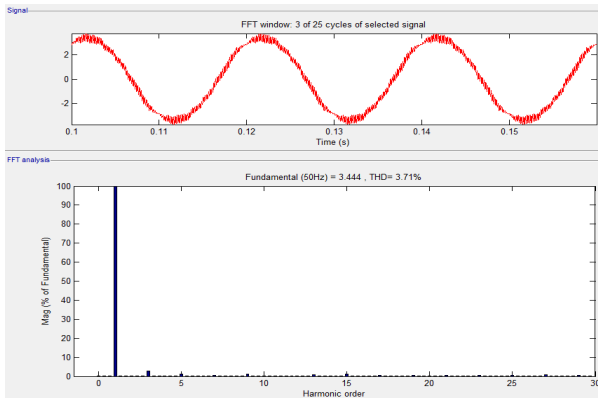


Gbr. 22 Tegangan Grid, Tegangan inverter, Arus inverter dan Arus grid kondisi *switching Off*

Gambar 22 memperlihatkan arus *inverter* dalam kondisi *switching off* menandakan *inverter* belum bekerja untuk mengkompensasi arus *grid* pada jaringan instalasi rumah tangga. Sedangkan tegangan *inverter* sudah menunjukkan tegangan yang sama seperti tegangan *grid*, yaitu 220,4 V. Arus *inverter* sebesar 0,0336 A dianggap belum mengkompensasi arus *grid* pada instalasi rumah tangga.

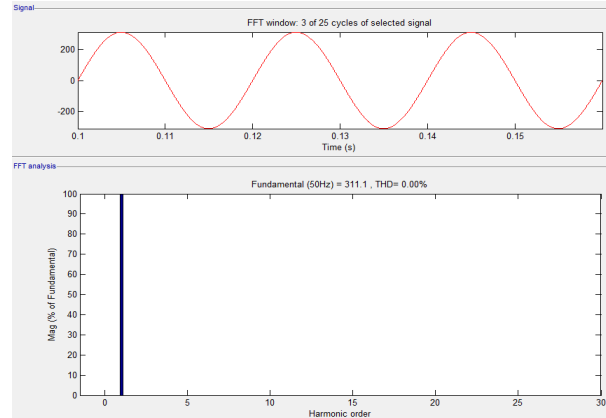
B. Hasil Simulasi Pemakaian Beban Maksimum switching On Grid Inverter

Hasil simulasi pemakaian beban listrik setelah menggunakan *grid inverter* memperlihatkan arus *grid* yang mengalir ke instalasi rumah sudah berkurang menjadi 2,43 A dengan daya pemakaian 534,6 Watt. Daya pemakaian beban ini berkurang karena sudah dikompensasi oleh *grid inverter*.

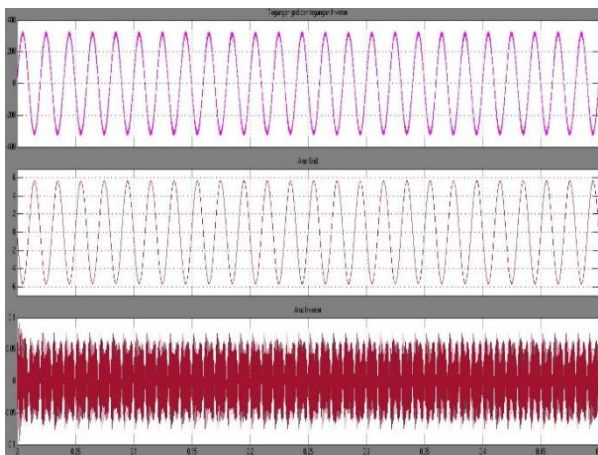


Gbr. 23 Spektrum Arus Grid dan THDI Kondisi Switching On

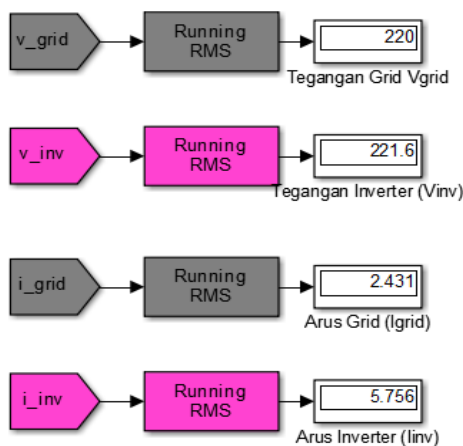
Gambar 25 memperlihatkan arus *inverter* dalam kondisi *switching on*, menandakan *inverter* sudah bekerja untuk mengkompensasi arus *grid* pada jaringan instalasi rumah tangga. Arus *grid* dihasilkan adalah 2,431 A. Sedangkan tegangan inverter sudah menunjukkan tegangan naik sebesar 221,7 V. Ini dikarenakan rangkaian kontrol *grid inverter* masih berupa rangkaian terbuka.



Gbr. 26 Gambar Spektrum Tegangan Grid dan THDV kondisi Switching On



Gbr. 24 Gelombang Tegangan Grid, Tegangan Inverter, Arus Inverter dan Arus Grid Kondisi Switching On



Gbr. 25 Tegangan Grid, Tegangan Inverter, Arus Inverter dan Arus Grid Kondisi Switching On

Gambar 26 merupakan spektrum magnituda tegangan *grid* dan THDV. Pada gambar tersebut dapat dilihat bahwa tegangan *grid* masih memenuhi kualitas distorsi tegangan dengan THDV sebesar 0%. Sedangkan Gambar 23 menunjukkan spektrum magnituda arus *grid* dan THDI, bahwa arus *grid* masih memenuhi batas arus distorsi dengan THDI sebesar 3,71%.

C. Perhitungan Menggunakan Rumus Rekening Listrik

Hasil simulasi dari model *switching off* dan *switching on*, setelah pemasangan *grid inverter* terhadap pelanggan listrik bagi masyarakat kurang mampu R1 dengan beban 900 Watt dan besar tunggakan (RPTAG) sebesar Rp300.000,00, seperti diperlihatkan pada Tabel 7. Perhitungan menggunakan rumus pemakaian beban listrik sehari-hari rata-rata 15 jam berdasarkan Tabel 7. Data diperoleh dari masyarakat dan teknisi PLN. Maka rekening listrik, dengan mengambil RPTAG Rp 300.000,00, sebagai referensi rekening tunggakan dengan ketentuan tarif dasar listrik 2018, dapat disimulasikan dengan perbandingan harga sebelum pemasangan dan setelah pemasangan *grid inverter* kondisi beban 100% dan 80.

Dari Tabel 7 tersebut dapat dilihat bahwa selisih pembayaran rekening listrik pemakaian beban 100% dan 80% dengan menggunakan *grid inverter* adalah sebesar Rp 100.304,00 dan Rp 27.474,00. Oleh karena itu kemungkinan pelanggan penunggak listrik masih mampu membayar rekening listrik tergantung pemakaian beban listrik maksimum sehari-hari.

Tabel VII
Simulasi Perhitungan Rekening Listrik

Simulasi Hemat Energi Listrik																Switching Off Grid Inv	Switching On Grid Inv
Perhitungan KWH meter kapasitas 900 VA untuk orang yang kurang mampu beban 100% dan 80%																	
No	Arus Grid (A)	Daya Pemakaian (Watt)	KWHour	Lamanya pemakaian sehari-hari rata-rata	Biaya Daya Listrik 900 VA	Biaya Beban 900 VA	Tarif Dasar Listrik Blok 1	Pajak Penerangan Jalan (PPJ)	Biaya Admin Bank	Biaya Material	KWH Terpakai /Bulan	Total Tarif Dasar Listrik (Rp)	Biaya KWHterpakai + Biaya Tarif	Biaya PPJ (Rp)	Biaya KWHterpakai+ PPJ + Biaya Tarif Dasar	Harga Rekening Listrik / Bulan (Rp)	Harga Rekening Listrik / Bulan (Rp)
1	4	880	0,880	16	20.000	18.000	605	0,075	3000	3.000	422,4	255.552	273.552	20.516	294.068	300.068	
1*	2,43	534,6	0,535	16	20000	18000	605	0,075	3000	3.000	256,6	155.248	173.248	20.516	193.764		199.764
2	3,2	704	0,704	16	20.000	18.000	605	0,075	3000	3.000	337,9	204.442	222.442	16.683	239.125	245.125	
2*	2,71	596,2	0,596	16	20000	18000	605	0,075	3000	3.000	286,2	173.136	191.136	20.516	211.653		217.653

Catatan

1,2 = switching Off Grid Inverter
1,2* = switching On Grid inverter

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemasangan *grid inverter* pada instalasi rumah tangga kurang mampu dapat menghemat biaya listrik sehingga masyarakat yang kurang mampu di desa Blang Pulo mampu membayar tunggakan rekening listrik.
2. Pemasangan *grid inverter* sangat efektif mengurangi arus yang mengalir pada *grid* dalam kondisi beban maksimum.
3. Sedangkan kondisi pemakaian beban listrik 80% tidak bisa secara efektif mengurangi secara dratis arus *grid* dikarenakan rangkaian kontrol *open loop* diatur secara manual.
4. Dengan adanya aplikasi teknologi *grid inverter* yang menggunakan panel surya secara khusus, sudah membantu masyarakat yang kurang mampu dalam pemakaian energi listrik, dan secara umum juga sudah membantu PLN dalam menangani krisis energi nasional.

REFERENSI

Angelo Baggini, 2008, "Handbook of Power Quality", John Wiley & Sons Ltd, TheAtrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.

Anup, A., Babu, B.C., 2012, Control of Grid Connected Inverter System for Sinusoidal Current Injection with Improved Performance", IEEE Conference, pp. 1-6, India.

Colque, J.C,Hernandez, N.M, Squarezi Filho, A. J., Azcue,J.L., 2017,"Shunt Active Power Filter Application to Reduce the Harmonics of Current With Photovoltaic Generation Grid-Tied", IEEE Conference, Workshop on Power Electronics and Power Quality Applications (PEPQA), pp. 1-6.

Data Unit Pelayanan Beban dan Jaringan Distribusi dari PT. PLN.

Ehsan Afsari., Farhangi, B., Yang,Y., Farhangi, S., 2017, "A low-Voltage Ride Through Control Strategy For Three Phase Grid Connected PV Systems", IEEE Power Energy Conference (PECI), pp. 1-6, Illinois.

Fallah Ardashir, J,Sabahi, M, Hossein Hosseini,S, Blaabjerg, F, Babaei, E, Gharehpetian, G.B, 2017,"A Single-Phase Transformerless Inverter With Charge Pump Circuit Concept for Grid-Tied PV Applications", IEEE Conference, IEEE 18th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL), Vol. 64, Iss. 7,pp. 5403-5415.

Farhadi-Kangarlu, M, Mohammadi, F, , 2018, "Performance Comparison of Single-Phase Transformeless Grid-Connected PV Inverters", IEEE Conference, 2018 9th Annual Power Electronics, Drives Systems and Technologies Conferences (PEDSTC), 7, pp. 71-76.

Hassan, A., Hamam, Y., 2017, "Providing Electricity To Remote Communities With DC Powered Devices Using Solar PV Systems", IEEE Conference PES Power Africa, pp.34-39, Africa.

Humaid, T., H., Susatyo,H., Darjat., 2016, "Simulasi Panel Surya Terintegrasi Grid Menggunakan Kerangka Referensi Sinkron ", Transient, Vol. 5, No. 4 pp.524, Desember 2016.

Meyer, J.,Von Solms, S., 2018,"Bake Bread while the Sun : Solar Bakery for Off-Grid rural Community Development", IEEE Conference, 2018 International Conference on the Domestic Use of Energy (DUE), pp. 1-5.

Rajesh, P.,Vais,R.I., Yadav, S., Swarup, P., 2017, A Modified PI Control for Gried-tie Inverters to Improved Grid Injected Current Quality, IJET, ISSN: 0975-4024.

Rashid, M. H., 2004 "Power Electronics, Circuit, Device and Application 3rd edition", Pearson Education, Inc

Zhu, Y.,Mc Culloch, M., Xu, D.Hu, C, 2017,"Converter Design of Sqaure Wave Micro Grid in-Rural Areas", IEEE 3th International Future Energy Electronics Conference and ECCE, pp. 1697-1702.