

## Simulasi Sistem Hibrid Pembangkit Energi Surya, Angin, dan Generator Untuk Mengoptimalkan Pemanfaatan Daya Energi Terbarukan

**Hendrayana**

Magister Teknik Elektro

Universitas Syiah Kuala, Darussalam Banda Aceh

e-mail: hendra\_unida@yahoo.com

### **Abstract**

*Electrical energy crisis related to the increasing population in an area will increase the electrical energy customers. Besides diminishing reserves of fossil energy that is required of alternative energy from renewable energy sources. The problem is in incorporating a potential source of renewable energy with a generator needs power generation hybrid, the hybrid system with a generator as backup energy utilization is less than optimal because when there was a deficit power generator takes over all of the power wasted in renewable energy generation. The purpose of study is to produce a hybrid system design between the generation of solar energy, wind energy and generator as support (support) when the power deficit in energy of renewable generator. Research Method in the design of hybrid system is a design block diagram consisting of solar panels, wind turbines, inverters, and generator. At this stage it has produced research outputs in the form of models of hybrid renewable energy generation systems and generators, then make a circuit simulation and measurement. The results of this research is a hybrid system that works adaptive-connected the generator to the system when the power deficit or increase the load to provide power support on renewable energy generation. This hybrid system with a capacity of 3.5 kW less power than the previous system with the composition generator 5.7 kW 2.2 kW of renewable energy consists of a 1 kW solar panels, wind turbines 1.3 kW and 1.3 kW generator voltage at 310V DC bus coupling, the voltage on the bus coupling AC 220V / 50 Hz, total load current at 16A. The percentage utilization of renewable energy rose from 11.73% to 24,94% and generator utilization fell from 24.50% to 16.74%.*

**Keywords:** Hybrid, renewable energy, generator

### **Abstrak**

*Krisis energi listrik yang berkaitan dengan meningkatnya jumlah penduduk di suatu daerah yang secara tidak langsung akan meningkatkan jumlah pelanggan energi listrik. Selain mengurangi cadangan energi fosil juga diperlukan energi alternatif dari sumber energi terbarukan. Masalahnya adalah dalam menggabungkan potensi sumber energi terbarukan dengan generator diperlukan pembangkit listrik hybrid. Sistem hybrid dengan generator sebagai pemanfaatan energi cadangan dinilai kurang optimal karena ketika ada sebuah generator listrik defisit mengambil alih semua daya yang terbuang di pembangkit energi terbarukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan desain sistem hybrid antara generasi energi surya, energi angin dan generator sebagai dukungan (support) ketika terjadi defisit daya energi generator terbarukan. Metode penelitian dalam desain sistem hybrid adalah diagram blok desain yang terdiri dari panel surya, turbin angin, inverter, dan generator. Pada tahap ini telah menghasilkan output penelitian dalam bentuk model sistem pembangkit energi terbarukan hybrid dan generator, kemudian membuat simulasi sirkuit dan pengukuran. Hasil dari penelitian ini adalah sistem hibrida yang bekerja adaptive- terhubung generator untuk sistem ketika defisit daya atau meningkatnya beban untuk memberikan dukungan daya pada pembangkit energi terbarukan. Ini sistem hybrid dengan kapasitas daya 3,5 kW kurang dari sistem sebelumnya dengan komposisi pembangkit 5.7 kW 2.2 kW energi terbarukan terdiri dari 1 kW panel surya, turbin angin 1,3 kW dan 1.3 kW generator tegangan pada kopling bus 310V DC, yang tegangan pada kopling bus AC 220V / 50 Hz, beban total saat ini di 16A. Persentase*

---

*pemanfaatan energi terbarukan meningkat dari 11,73% menjadi 24,94% dan pemanfaatan pembangkit turun dari 24,50% menjadi 16,74%.*

**Kata kunci:** *Hybrid, energy terbarukan, generator*

## 1. Pendahuluan

Krisis energi menjadi masalah serius mengingat cadangan energi fosil yang tersedia semakin menipis. Masalah tersebut menjadikan manusia saling berlomba untuk mencari sumber energi alternatif. Perkembangan teknologi tentang sumber energi alternatif seiring dengan berkembangnya perhatian masyarakat akan isu-isu lingkungan, maka energi terbarukan (renewable energy) telah banyak digunakan. Beberapa teknologi telah diterapkan dengan berbagai sumber energi terbarukan diantaranya energi surya, energi angin, pikro hidro, dan biomasa [1, 2].

Sistem pembangkit hibrid adalah suatu sistem pembangkit yang menggunakan lebih dari satu jenis energi primer untuk satu beban yang sama. Tujuan utama dikembangkan pembangkit hibrid adalah untuk menjamin suplai energi primer pada pembangkit sehingga produksi listrik juga terjamin.

Dari sisi lain dengan menggunakan sistem hibrid ini maka pembangkit juga akan lebih efisien dan ekonomis [3]. Sistem pembangkit hibrid yang terdiri dari beberapa jenis pembangkit pada umumnya menggunakan baterai sebagai penyimpanan energi dan pengendali yang mengoptimalkan pemakaian energi dari masing-masing sumber dan baterai disesuaikan dengan beban dan ketersediaan energi dari sumber yang digunakan [4].

Penelitian sebelumnya membahas mengenai sistem hibrid pada daerah terisolasi dimana terdapat beberapa jenis pembangkit sumber energi terbarukan dan pembangkit diesel. Beban-beban listrik disuplai oleh sumber energi terbarukan sedangkan generator digunakan sebagai backup atau cadangan apabila sistem pembangkit energi terbarukan tidak mampu lagi menyuplai daya ke beban ketika beban bertambah atau ketika pembangkit energi terbarukan mengalami gangguan atau dalam perbaikan [5].

Pada penelitian ini akan memodifikasi sistem hibrid dimana generator yang hanya digunakan sebagai backup menjadi sumber energi pendukung (support) untuk mengoptimalkan pembangkit energi terbarukan dalam penyaluran daya ke beban. Pada sistem sebelumnya seluruh beban akan dilayani oleh generator ketika terjadi defisit daya dari pembangkit energi terbarukan, sedangkan pada penelitian ini generator bertindak sebagai energi pendukung membantu pembangkit energi terbarukan dalam suplai daya ke beban. Sistem yang dimodifikasi ini akan menghemat bahan bakar generator ketika terjadi defisit daya dan juga dapat digunakan sebagai backup apabila seluruh sistem pembangkit energi terbaukan mengalami gangguan.. Sistem hibrid ini mempunyai manfaat untuk diterapkan di daerah-daerah terisolasi atau pulau-pulau kecil dimana tersedianya potensi energi terbarukan lainnya selain energi surya.

## 2. Landasan Teori

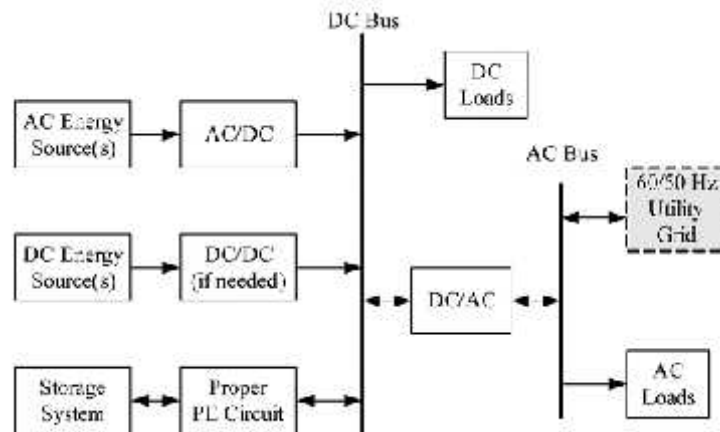
Sistem hibrid adalah sistem pembangkit yang terdiri dari beberapa jenis pembangkit listrik yang terintegrasi. Sistem hibrid bisa berupa gabungan antara pembangkit listrik dari sumber energi terbarukan (renewable energy) dan pembangkit listrik dari sumber energi konvensional atau tidak terbarukan (non renewable energy) atau gabungan antar pembangkit listrik terbarukan. Salah satu persyaratan utama untuk sistem hibrid adalah untuk memastikan

aliran daya yang berkelanjutan dengan menyimpan kelebihan energi dari sumber energi terbarukan.

## 2. 1 Model Sistem Hibrid

### A. Kopel DC

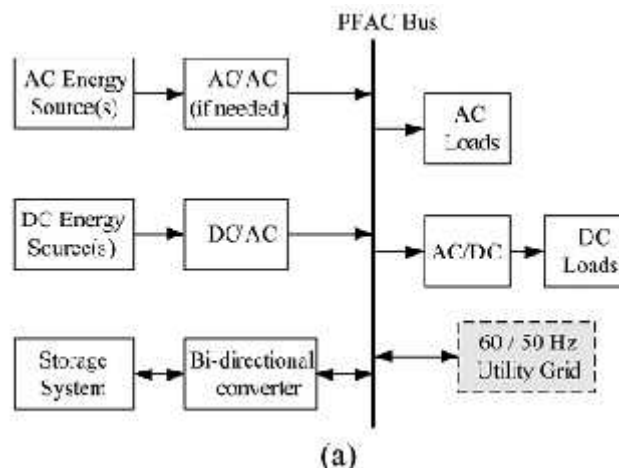
Konfigurasi dari kopel DC ditunjukkan pada Gambar 1, beberapa sumber energi terbarukan dihubungkan pada bus DC melalui perangkat elektronik. Sumber DC dapat dihubungkan langsung pada bus DC atau melalui DC konverter untuk mendapatkan tegangan DC yang sama.



Gambar 1. Skema sistem hibrid kopel DC [4].

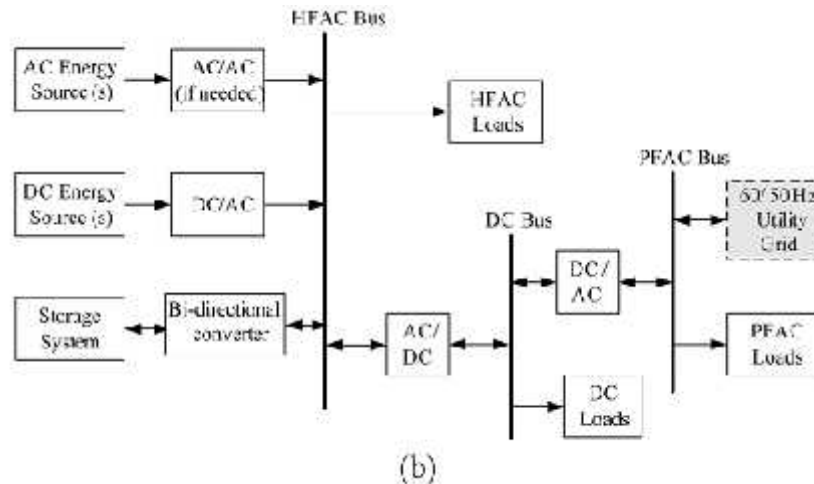
### B. Kopel AC

Kopel AC dapat dibagi menjadi dua sub kategori: kopel PFAC (power frequency AC) dan kopel HFAC (high frequency AC). Kopel PFAC ditunjukkan pada Gambar 2.2 (a), dimana beberapa sumber energi yang berbeda terintegrasi melalui perangkat elektronik pada bus AC.



Gambar 2 (a) Skema sistem hibrid AC kopel PFAC [4].

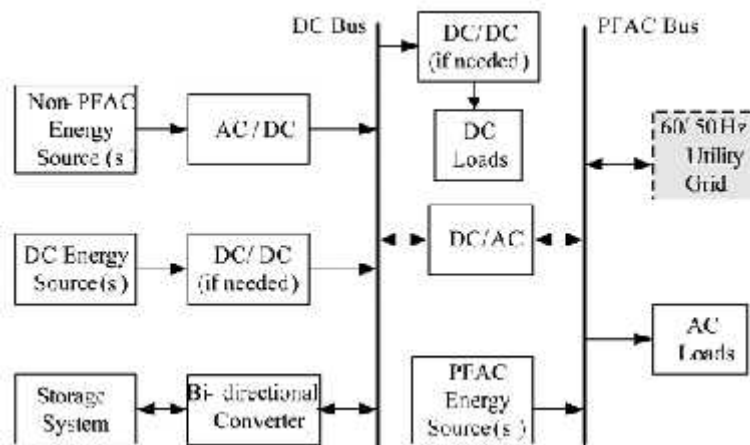
Kopel HFAC ditunjukkan pada Gambar 2 (b). Sumber energi yang berbeda digabungkan ke bus HFAC dimana beban HFAC juga terhubung. Konfigurasi sistem ini telah digunakan pada pesawat terbang, kapal, kapal selam dan dalam aplikasi stasiun ruang angkasa. Pada sistem PFAC dan HFAC sumber DC diperoleh dari perangkat AC/DC konverter. Pada sistem HFAC bisa juga terdapat bus PFAC dan jaringan listrik nasional melalui AC/AC atau DC/AC konverter yang dapat dihubungkan dengan beban AC [4].



Gambar 2 (b) sistem hibrid kopel AC HFAC [4].

### C. Kopel Hibrid

Semua pembangkit DC atau AC yang berbeda dapat dihubungkan pada bus DC atau bus AC dari sistem hibrid. Gambar 3 menunjukkan sistem hibrid kopel dimana sumber energi terhubung pada bus DC dan bus AC. Pada konfigurasi ini beberapa sumber energi dapat diintegrasikan secara langsung tanpa perantara perangkat lain. Hasilnya sistem ini mempunyai efisiensi energi yang lebih tinggi dan dapat mengurangi biaya. Pada kopel hibrid kontrol dan manajemen energi lebih rumit dari kopel DC atau kopel AC [4].



Gambar 3. Skema sistem hibrid hybrid-couple [4].

Skema dari kopel lainnya lebih efektif jika sumber utama dari sistem hibrid menghasilkan daya DC dan sebagian besar beban adalah DC sehingga sistem kopel DC adalah pilihan yang baik. Di sisi lain jika sumber utama menghasilkan daya AC (yang bisa dihubungkan dengan grid) maka lebih efektif menggunakan sistem kopel AC. Jika sumber daya utama sistem hibrid campuran dari AC dan DC maka sistem integrasi hibrid kopel dapat dipertimbangkan untuk digunakan. Pada Gambar 2.2 dan 2.3 daya dari perangkat elektronik penghubung dapat dibuat sebagai sebuah blok bangunan modular memberikan dan skalabilitas yang lebih fleksibilitas dalam hal menghubungkan pembangkit-pembangkit baik pada kopel AC maupun DC [4].

Berdasarkan penjelasan diatas penelitian ini akan menggunakan skema dari sistem kopel hibrid karena efisiensinya lebih tinggi, hal ini karena sistem ini memiliki dua kopel dimana pada kopel DC langsung terhubung pada pembangkit DC yaitu panel surya dan turbin angin DC, sedangkan pada kopel AC terhubung pada generator. Sistem hibrid kopel ini lebih efektif untuk mengurangi rugi-rugi karena perangkat konversi tegangan dibandingkan dengan kopel lainnya. Misalnya pada kopel DC, untuk mengintegrasikan generator pada sistem, tegangan generator dikonversikan dulu dari AC ke DC. Begitu pula pada kopel AC, untuk mengintegrasikan pembangkit energi terbarukan dengan tegangan DC harus dirubah menjadi AC dengan konverter tegangan.

## 2.2 Relevansi Penelitian

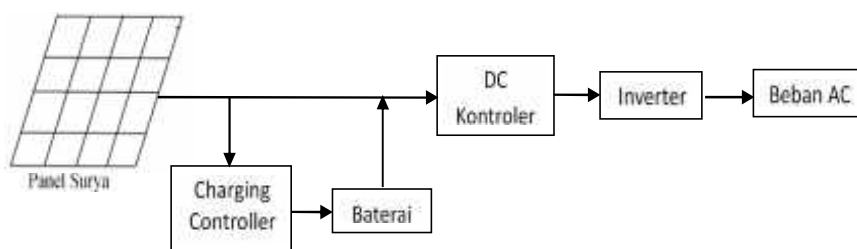
Pada daerah-daerah yang terisolasi yang tidak terjangkau dari jaringan listrik nasional menggunakan sumber-sumber energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi mereka. Dalam kelompok ini penggunaan energi listrik untuk keperluan rumah tangga seperti pencahayaan. Layanan energi listrik memberikan kontribusi terutama untuk pembangunan sosial yang menyeluruh untuk meningkatkan pertumbuhan ekonomi serta kelestarian lingkungan [5]. Meskipun ada berbagai jenis kombinasi dari sumber energi, kombinasi umum untuk mikro-grid daerah terisolasi adalah panel surya dan turbin angin [6]. Sistem ini telah terbukti efektif untuk di aplikasikan pada daerah yang sulit di akses [7, 8].

Kajian-kajian pada sistem hibrid yang sering di diskusikan terkait masalah daya, kinerja, kehandalan dan masalah kelembagaan. Dalam desain dan optimasi sistem hibrid beberapa penelitian membahas mengenai desain optimal dari sistem hibrid surya dan angin baik off-grid atau on-grid dengan menggunakan teknik pemograman linear untuk meminimalkan rata-rata biaya produksi listrik sementara untuk memenuhi kebutuhan beban [9]. Selain itu prosedur otomatis untuk melakukan pengaturan yang optimal hibrid surya-angin terhubung ke grid menggunakan logika fuzzy multi fungsi untuk mendapatkan desain yang ekonomis dan handal [10].

## 2.3 Sumber Energi Hibrid

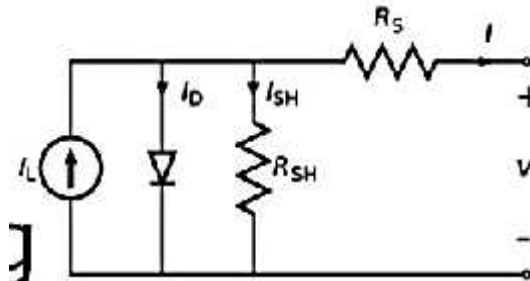
### A. Panel Surya (PV)

Panel surya ialah suatu konverter energi yang dapat mengonversi cahaya matahari menjadi energi listrik DC dengan kapasitas tertentu sesuai dengan jenis material dan luasan dari panel surya. Penggunaan pembangkit energi ini sangat bermanfaat dan menguntungkan karena selain tidak menghasilkan kebisingan dan polusi udara juga tidak memakai energi fosil sebagai bahan bakarnya [11]. Berikut adalah blok diagram sistem pembangkit listrik tenaga surya yang ditunjukkan pada Gambar 4 di bawah ini.



Gambar 4 Blok diagram sistem pembangkit tenaga surya

Panel surya mempunyai rangkaian ekivalen seperti pada Gambar 5. Arus  $I$  pada terminal output adalah sama dengan arus yang dibangkitkan arus  $I_L$  yang dikurangi dengan arus dioda  $I_D$  dan arus kebocoran paralel  $I_{sh}$  yang bernilai kecil. Resistansi seri  $R_s$  ialah resistansi internal aliran arus. Resistansi paralel  $R_{sh}$  dihubungkan untuk membalik arus bocor ke *ground*. Dari rangkaian ekivalen, terlihat arus disampaikan ke beban eksternal sama besar dengan  $I_L$ , lebih kecil dari arus  $I_D$  dan  $I_{sh}$ .



Gambar 5 Rangkaian ekivalen panel surya [7].

Dari rangkaian di atas, arus yang mengalir pada panel surya dinyatakan dengan persamaan [11]:

$$I = I_L - I_D - I_{sh} \quad (1)$$

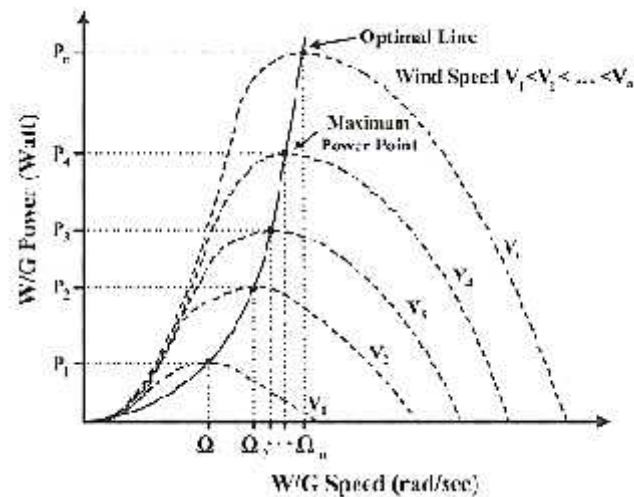
$$I = I_L - I_0 \left[ \exp \left( \frac{V + IR_s}{nV_T} \right) - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (2)$$

dimana:

- $I_L$  = arus sumber (A)
- $I_0$  = arus saturasi dioda reverse (A)
- $R_s$  = tahanan seri ( $\Omega$ )
- $R_{sh}$  = tahanan shunt ( $\Omega$ )
- $n$  = dioda ideality factor

## B. Turbin Angin (*Wind Turbin*) Output DC

Energi angin merupakan salah satu potensi energi terbarukan yang dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap kebutuhan energi listrik, khususnya wilayah terpencil. Energi angin dapat dimanfaatkan menjadi energi listrik dengan turbin angin. Saat pembangkit energi angin terpasang hingga dalam MW meluas penggunaannya dalam jaringan distribusi serta telah banyak terhubung ke jaringan transmisi. Karakteristik dari turbin angin dapat dilihat dari kurva hubungan antara kecepatan rotor dengan daya yang dihasilkan ( $\omega_r - P$ ) dan kurva hubungan kecepatan angin dengan daya.



Gambar 6. Kurva hubungan kecepatan rotor dengan daya [13].

Daya yang di tangkap oleh turbin angin  $P_m$  adalah fungsi dari bentuk baling-baling, *Pitch angle*, diameter baling-baling dan kecepatan rotor [13].

$$P_m = \frac{1}{2} \rho C_p(\lambda, \beta) \pi R^2 V^3 \tag{3}$$

Dimana :

- $\rho$  = kerapatan udara (1.22 kg/m<sup>3</sup>)
- $\lambda$  = tip-speed ratio
- $\beta$  = pitch angle (dalam derajat)
- $C_p$  = koefisien daya dari turbin angin
- R = diameter baling-baling (m)
- V = kecepatan angin (m/s)

Persamaan dari  $\lambda$  didefinisikan sebagai :

$$\lambda = \frac{\omega R}{V} \tag{4}$$

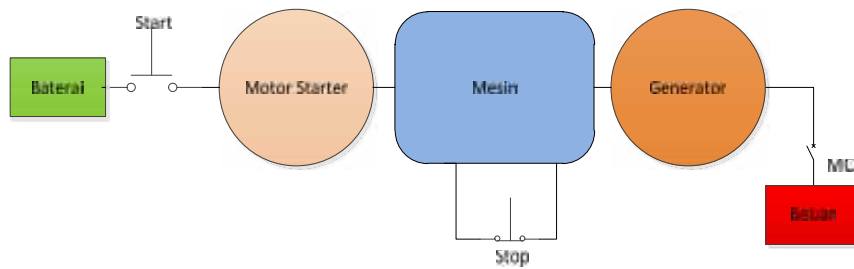
Dimana  $\omega$  adalah kecepatan rotor dari turbin angin dengan satuan (rad/s), dan  $C_p$  didapat dari persamaan:

$$C_p(\lambda, \beta) = c_1 \left( \frac{c_2}{\lambda_i} - c_3 \beta - c_4 \right) e^{-\frac{c_5}{\lambda_i}} + c_6 \lambda \tag{5}$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08 \beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \tag{6}$$

### C. Generator

Generator adalah salah satu pembangkit listrik dari bahan fosil. Prinsip kerja generator adalah merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Bagian-bagian generator yaitu mesin dan generator, selain itu motor starter dan juga baterai untuk starter motor. Single line diagram generator ditunjukkan pada Gambar 7. Saat saklar Start di tekan motor starter menyalakan mesin dan memutar generator, MCB akan terhubung ke beban ketika generator sudah normal bekerja, atau pada saat kondisi steady state yaitu pada waktu 10 detik, saat tombol stop di tekan mesin akan berhenti, generator dan beban tidak terhubung lagi.



Gambar 7 Single line diagram generator

#### D. Baterai

Baterai merupakan piranti penyimpan energi dalam bentuk elektrokimia yang banyak digunakan untuk menyimpan energi untuk berbagai aplikasi. Terdapat dua jenis baterai [17], yaitu:

- Baterai primer, yang mengubah energi kimia menjadi energi listrik. Reaksi elektrokimia yang terjadi bersifat non-reversible (tidak dapat balik). Sehingga setelah digunakan, baterai ini harus dibuang.
- Baterai sekunder atau dikenal dengan baterai rechargeable (bisa diisi ulang). Reaksi elektrokimia yang terjadi bersifat reversible (dapat balik). Sehingga setelah digunakan, baterai ini dapat diisi (charging) dengan memberikan arus listrik dari luar.

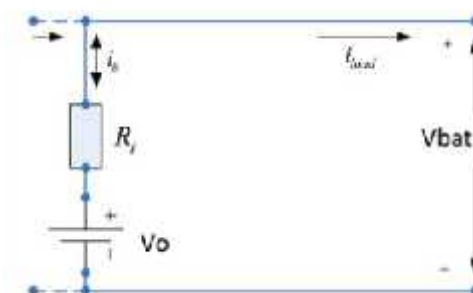
Rangkaian ekuivalen baterai yang paling sederhana diperlihatkan pada gambar 8, dimana terdiri dari sebuah sumber tegangan dengan hambatan yang disusun seri [17,18]. Dari gambar ini, tegangan pada terminal baterai ( $V_{bat}$ ) dinyatakan oleh [17]:

$$V_{bat} = V_0 - i_b(t) \quad (7)$$

Dimana  $V_0$  adalah tegangan internal baterai, dan  $R_i$  adalah hambatan internal baterai, dan  $i_b(t)$  adalah arus yang mengalir dari / ke baterai. jika baterai digunakan (discharge) maka arus  $i_b$  bertanda positif (+), dan jika baterai diisi (charge) maka arus  $i_b$  bertanda negatif (-). Energi yang disimpan/diberikan  $E_{bat}(t)$  adalah [17]:

$$E_{bat}(t) = E_{bat\_init}(t) - \int V_{bat} i_b(t) dt \quad (8)$$

dimana  $E_{bat\_init}$  adalah energi awal baterai.



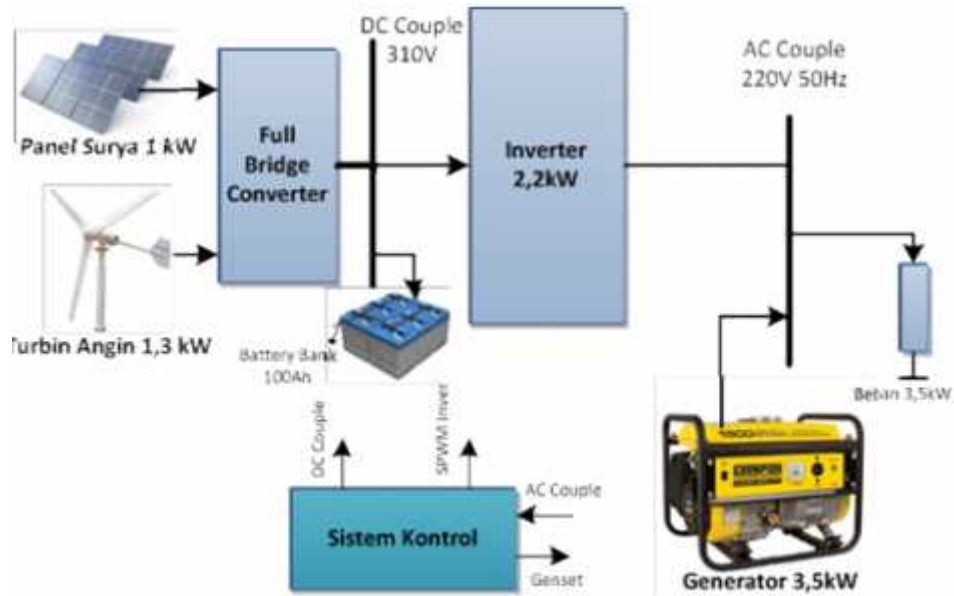
Gambar 8. rangkaian ekuivalen baterai Lead-Acid [17]



### 3. Perancangan Sistem Hibrid

#### A. Permodelan Sistem Hibrid

Pada penelitian ini dimulai dengan membuat desain rancangan awal sistem hibrid berupa blok diagram seperti ditunjukkan pada Gambar 9 yang terdiri dari panel surya, turbin angin, generator, beban, dan baterai.



Gambar 9. Blok diagram sistem hibrid panel surya, turbin angin dan generator

Blok diagram diatas adalah sistem pembangkit hibrid energi terbarukan dan generator, pembangkit energi terbarukan terdiri dari panel surya dengan daya 1 kW, turbin angin dengan daya 1,3 kW dan generator 3,5 kW, selain itu terdapat baterai bank yang berfungsi sebagai penyimpanan energi. Estimasi daya yang dilayani pada sistem pembangkit hibrid ini minimal 660W dan maksimal 3,5 kW.

#### B. Cara Kerja Sistem

Cara kerja sistem hibrid pada blok diagram diatas adalah sebagai berikut : Pembangkit energi terbarukan terdiri dari panel surya dan turbin angin, panel surya berkapasitas 1 kW. Panel surya di atur pada intensitas cahaya 300-1000 w/m<sup>2</sup> pada tegangan yang telah di stabilkan 120 V, dan turbin angin berkapasitas 1,3 kW dengan kecepatan angin antara 3 – 4,2 m/s pada tegangan stabil 120 V, Kedua pembangkit tersebut dihubungkan pada bus kopel DC dengan perangkat full bridge konverter yang berfungsi menaikkan tegangan dari 120V menjadi 310 V.

Tegangan DC keluaran dari full bridge konverter 310 VDC kemudian dirubah menjadi tegangan AC 220 VAC/50 Hz melalui inverter, hasil tersebut merupakan proses konversi sesuai dengan rumus konversi tegangan DC-AC yaitu tegangan rata-rata yang diperoleh dari  $(1/2) V_{Max}$ . Total daya dari inverter 725 W - 2200 W berasal dari panel surya dan turbin angin. Generator 3,5 kW dan inverter terhubung pada bus kopel AC dimana beban-beban terhubung.

Beban-beban pada bus kopel AC bervariasi antara 660 W – 3520 W. Pembangkit energi terbarukan akan mensuplai daya ke beban sebesar kemampuan dari penjumlahan dari panel surya dan turbin angin. Kemampuan dari pembangkit energi terbarukan di pengaruhi oleh intensitas cahaya matahari pada panel surya dan kecepatan angin pada turbin angin, selain itu dari kapasitas daya baterai. Ketika daya beban naik lebih besar dari kemampuan pembangkit energi terbarukan ( $P_B > P-ET$ ) maka generator akan menyala. Ketika daya beban lebih kecil dari daya pembangkit energi terbarukan maka generator akan padam. Cara kerja sistem ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1 Hasil simulasi perangkat hibrid

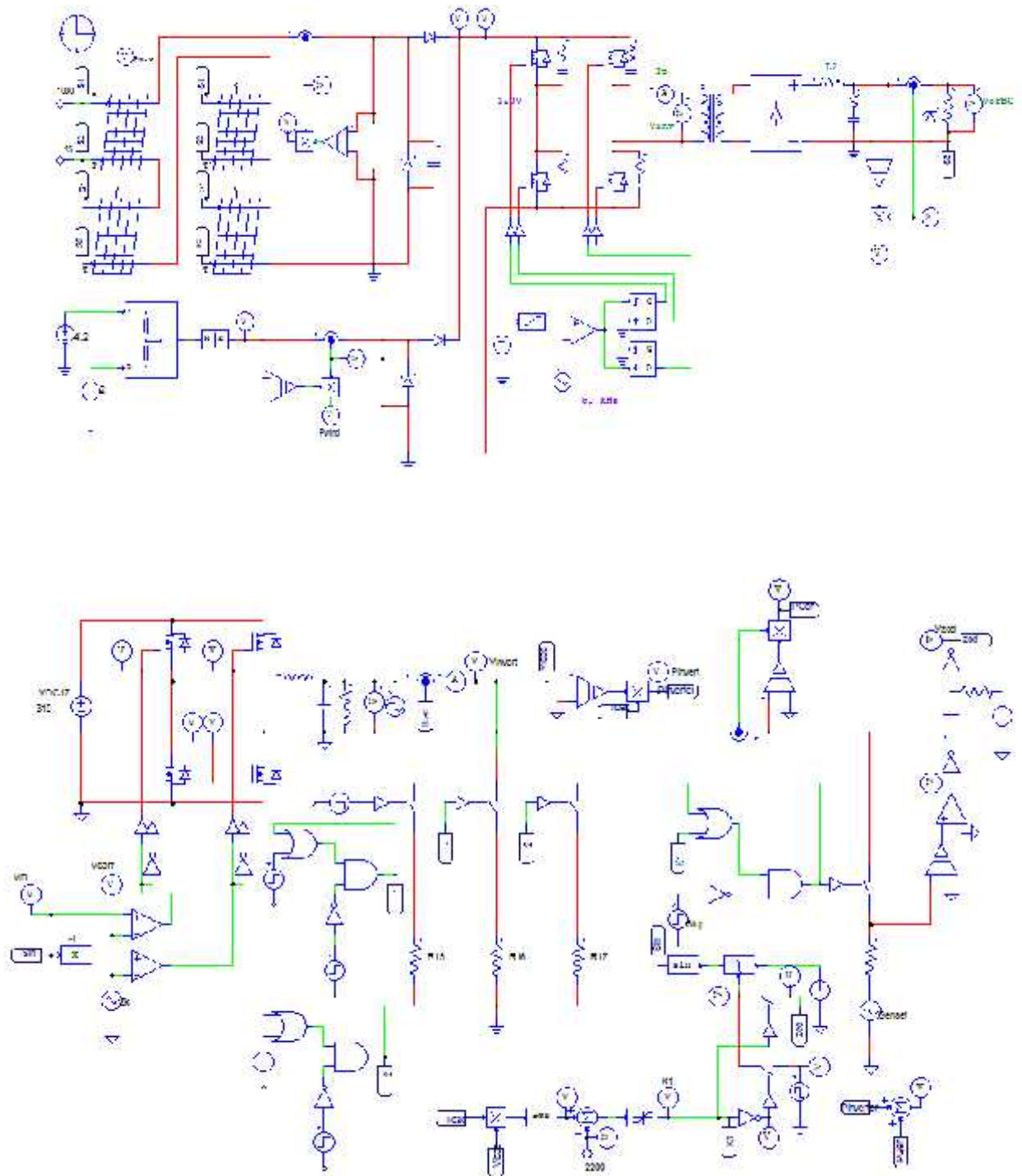
| Simulasi Perangkat    | Radiasi ( $w/m^2$ ) | Kecepatan (m/s) | Tegangan | Arus       | Daya (W) | Frekuensi |
|-----------------------|---------------------|-----------------|----------|------------|----------|-----------|
| Panel Surya           | 300-1000            | -               | 120 V    | 2,36-8.3 A | 283-1000 | -         |
| Turbin angin          | -                   | 3 - 4.2         | 120 V    | 11 A       | 340-1341 | -         |
| Generator             | -                   | -               | 220 V    | 6 A        | 3520     | 50 Hz     |
| Battery bank          | -                   | -               | 120 V    | 100Ah      | 2200     | -         |
| Full Bridge Konverter | -                   | -               | 120/310  | -          | 2300     | -         |
| Inverter              | -                   | -               | 310/220  | 10 A       | 2200     | 50 Hz     |

Tabel 2 Hasil simulasi perangkat hibrid

| [1] Percobaan simulasi | [1] Sistem Backup |            | [1] Sistem Support |            |
|------------------------|-------------------|------------|--------------------|------------|
| [1] $PET < PB$         | [2] ET OFF        | [2] PG ON  | [1] ET ON          | [1] PG ON  |
| [1] $PET \geq PB$      | [3] ET ON         | [3] PG OFF | [2] ET ON          | [2] PG OFF |

### C. Rangkaian Simulasi

Pada desain rangkaian simulasi sistem hibrid ini, terdapat dua bus yaitu bus DC dan bus AC. Bus DC menghubungkan antara panel surya dengan turbin angin, sedangkan bus AC menghubungkan inverter dan generator, selain itu beban juga terhubung pada bus AC. Simulasi ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Simulasi hibrid Inverter dan Generator

Fungsi generator sebagai backup yaitu ketika pengurangan nilai daya dari pembangkit energi terbarukan (PET ) yang berasal dari panel surya dan turbin angin terhadap daya beban (PB ) hasilnya lebih kecil atau bernilai negatif maka generator (PG ) akan menyala, dan pembangkit energi terbarukan akan off. Generator akan mengambil alih beban selain itu juga digunakan untuk mengisi baterai. Setelah daya dari pembangkit energi terbarukan telah lebih besar dari nilai beban maka generator akan padam sesuai dengan Tabel 2.

Variasi dari daya beban dan daya masing-masing pembangkit yang telah disusun pada simulasi ini dapat diskema kan seperti pada Tabel 3 berikut ini:

Tabel 3. Skema simulasi generator sebagai backup

| Waktu | Daya Beban PB (Watt) | Panel Surya (Watt) | Turbin Angin (Watt) | Total ET (Watt) | Selisih PET-PB (Watt) | Posisi ET | Posisi Genset |
|-------|----------------------|--------------------|---------------------|-----------------|-----------------------|-----------|---------------|
| 0     | 0                    | 0                  | 0                   | 0               | 0                     | OFF       | OFF           |
| 1     | 2200                 | 1000               | 1200                | 2200            | 0                     | ON        | OFF           |
| 2     | 660                  | 385                | 340                 | 725             | 65                    | ON        | OFF           |
| 3     | 2860                 | 800                | 1137                | 1937            | -923                  | OFF       | ON            |
| 4     | 3520                 | 1000               | 1200                | 2200            | -1320                 | OFF       | ON            |
| 5     | 1320                 | 600                | 1137                | 1737            | 417                   | ON        | OFF           |
| 6     | 2200                 | 800                | 688                 | 1488            | -712                  | OFF       | ON            |
| 7     | 2860                 | 800                | 688                 | 1488            | -1372                 | OFF       | ON            |

Dari tabel diatas dapat di jelaskan ketika daya beban nol, semua pembangkit dalam keadaan off. Ketika selisih daya bernilai positif generator off dan energi terbarukan on, saat selisih daya bernilai negatif genset akan on dan energi terbarukan akan off.

Fungsi generator sebagai support yaitu ketika nilai beban lebih besar dari pembangkit energi terbarukan atau selisih dari daya energi terbarukan dan daya beban bernilai negatif maka generator akan menyala, pembangkit energi terbarukan tidak perlu di off karena fungsi generator digunakan untuk menambahkan daya pada pembangkit energi terbarukan ketika terjadi defisit daya. Ketika nilai beban lebih kecil dari pembangkit energi terbarukan generator akan padam. Selisih dari daya beban dan daya pembangkit energi terbarukan dipengaruhi oleh perubahan daya pada beban dan pengaruh intensitas cahaya pada panel surya dan kecepatan pada turbin angin. Sistem ini akan terus mendeteksi selisih dari hal ini dan akan menjadi perintah kapan waktu penyalaan generator.

PET < PB : PG ON, PET -ON  
PET > PB : PG OFF, PET -ON

Skema dari sistem kedua dimana fungsi genset sebagai support ditunjukkan pada Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Skema simulasi generator sebagai support

| Waktu | Daya Beban PB (Watt) | Panel Surya (Watt) | Turbin Angin (Watt) | Total ET (Watt) | Selisih PET- PB (Watt) | Posisi Genset | Posisi ET |
|-------|----------------------|--------------------|---------------------|-----------------|------------------------|---------------|-----------|
| 0     | 0                    | 0                  | 0                   | 0               | 0                      | OFF           | OFF       |
| 1     | 2200                 | 1000               | 1200                | 2200            | 0                      | OFF           | ON        |
| 2     | 660                  | 385                | 340                 | 725             | 65                     | OFF           | ON        |
| 3     | 2860                 | 800                | 1137                | 1937            | -923                   | ON            | ON        |
| 4     | 3520                 | 1000               | 1200                | 2200            | -1320                  | ON            | ON        |
| 5     | 1320                 | 600                | 1137                | 1737            | 417                    | OFF           | ON        |
| 6     | 2200                 | 800                | 688                 | 1488            | -712                   | ON            | ON        |
| 7     | 2860                 | 800                | 688                 | 1488            | -1372                  | ON            | ON        |

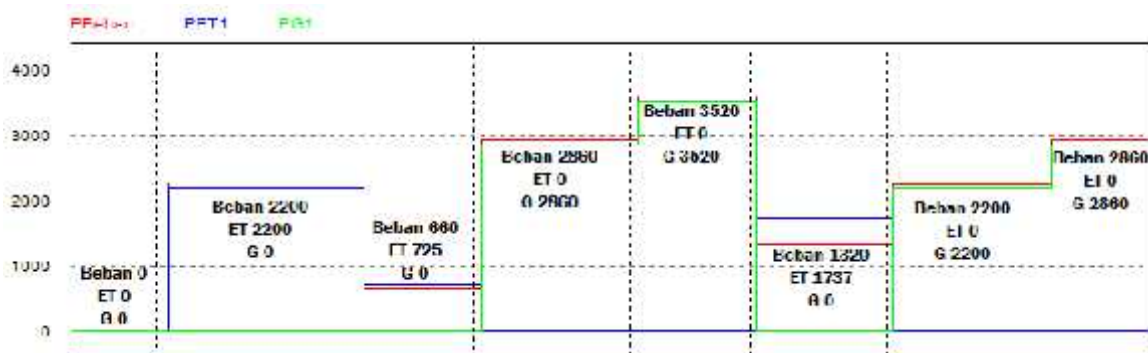
Dari tabel tersebut dapat di jelaskan ketika daya beban nol, semua pembangkit dalam keadaan off. Ketika selisih daya bernilai positif generator off dan energi terbarukan on, saat selisih daya bernilai negatif genset akan on dan energi terbarukan akan off.

#### 4. Hasil Simulasi

Pada penelitian ini menggunakan software simulasi untuk mendapatkan hasil yang di inginkan. Software simulasi merupakan aplikasi komputer yang berguna untuk eksperimen awal penelitian sebelum diaplikasikan kedalam bentuk aslinya.

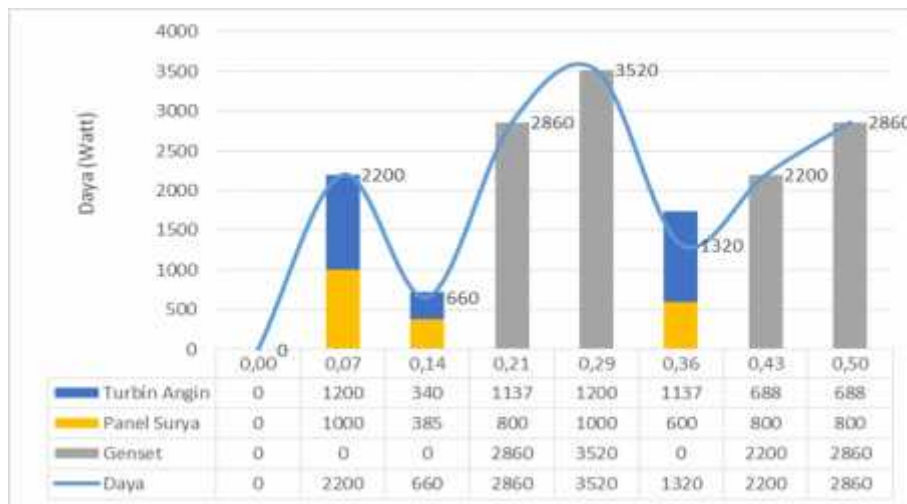
##### A. Sistem hibrid generator backup

Penelitian sebelumnya sistem hibrid pembangkit energi terbarukan terdiri dari panel surya, turbin angin dan generator. Daya maksimum yang mampu dihasilkan panel surya 1000 W, turbin angin 1200 W dan generator 3520 W. Total daya hibrid yang dihasilkan sebesar 5720 W, generator digunakan sebagai backup apabila pembangkit energi terbarukan tidak mampu menyuplai daya saat terjadi penambahan beban. Hasil simulasi seperti pada Gambar 11.



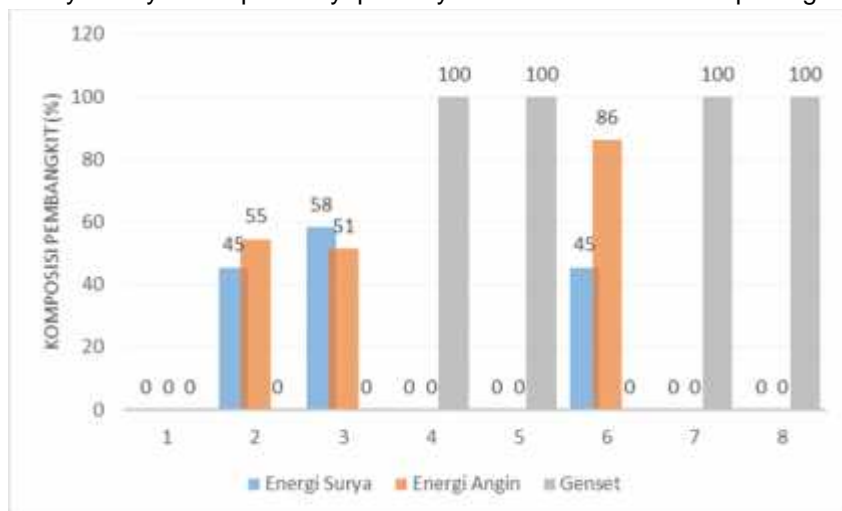
Gambar 11 Hasil simulasi penelitian awal

Grafik 1 menunjukkan performa dari sistem hibrid dengan generator sebagai backup, terlihat bahwa generator bekerja mandiri mensuplai daya pada beban lebih besar dari kemampuan pembangkit energi terbarukan.



Grafik 1. Efisiensi daya generator Vs energi terbarukan (%)

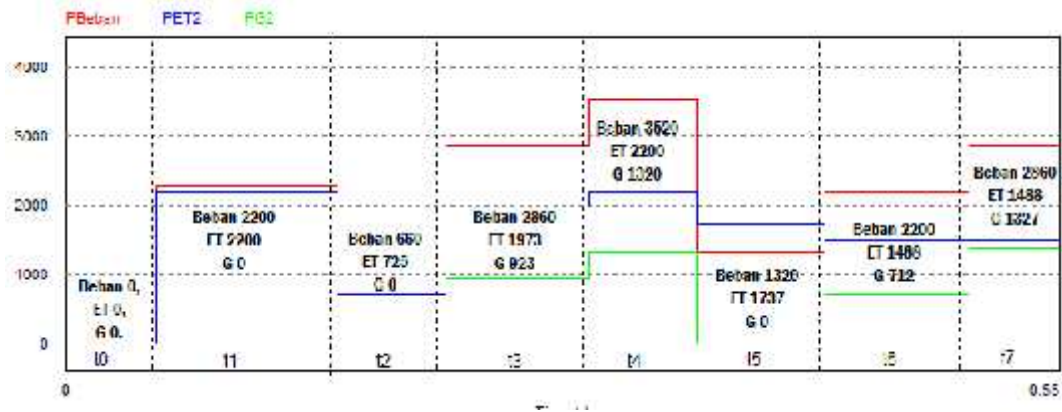
Komposisi masing-masing pembangkit sesuai dengan keadaan beban yang telah ditentukan seperti pada Grafik 2. Terlihat bahwa pada saat beban naik diatas kemampuan pembangkit energi surya dan angin generator mengambil alih keseluruhan beban, hal ini dapat dilihat dari persentase generator dalam mensubstitusikan daya sebesar 100% saat terjadi defisit energi. Panel surya hanya mampu menyuplai daya lebih kecil dari kemampuan generator.



Grafik 2 Komposisi pembangkit dalam suplai daya beban

### B. Sistem hibrid generator support

Simulasi hasil rancangan sistem hibrid yang terdiri dari sumber pembangkit energi terbarukan 2200 W dan generator 3520 W ditunjukkan pada Gambar 4.12. total daya yang dihasilkan dari sistem hibrid ini sebesar sama dengan sistem backup yaitu 5720 W. perbedaannya pada daya yang dihasilkan generator pada saat bekerja sebagai support energi primer. Generator berfungsi sebagai support energi atau suplai daya tambahan apabila terjadi penambahan beban ketika daya dari pembangkit energi terbarukan tidak mampu mensuplai daya karena terbatasnya kapasitas daya pembangkit.



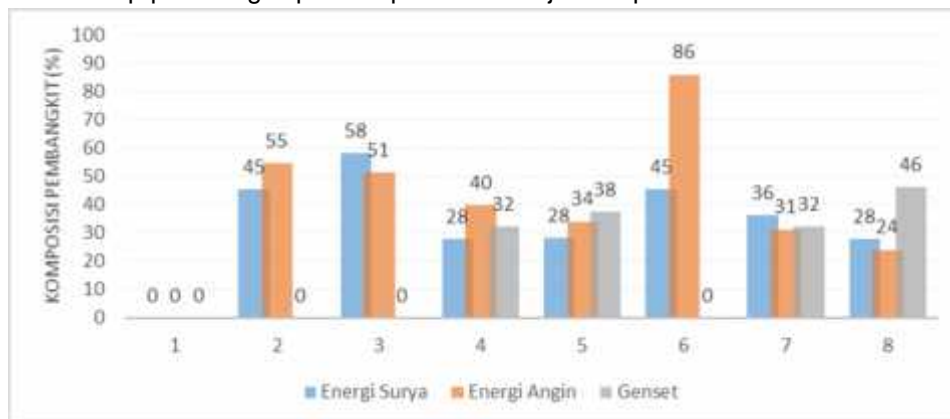
Gambar 12 Hasil simulasi penelitian generator sebagai support.

Grafik 3 menunjukkan performa dari sistem hibrid dengan generator sebagai support, terlihat bahwa generator bekerja mendukung pembangkit energi terbarukan menambah daya yang dibutuhkan beban sebesar 923 W pada beban 2860 W, 712 W pada beban 2200 W dan 1320 W pada beban 2860 W. sedangkan beban dari 0-2200 W di suplai oleh energi terbarukan.



Grafik 3 Performa sistem hibrid generator sebagai support

Komposisi dari tiap pembangkit pada tiap waktu ditunjukkan pada Grafik 4.8 berikut :



Grafik 4 Komposisi Pembangkit (%)

Dari Grafik 4 dapat dijelaskan pada saat beban 0W semua pembangkit tidak bekerja, ketika beban 2200 W panel surya menyuplai daya 45% dan turbin angin 55% sedangkan generator 0%, pada beban 660 W panel surya 58%, turbin angin 51% generator 0%. Ketika beban 2860 W panel surya hanya menyuplai 28% ditambah dengan turbin angin 40% selebihnya dari generator 32%. Saat daya beban naik lagi menjadi 3520 panel surya dan turbin angin masing-masing menyuplai daya 28% dan 34% sedangkan generator 38%. Saat beban turun menjadi 1320 W panel surya menyuplai daya 45% dan turbin angin 86% sedangkan generator off. Saat beban naik 2200 W panel surya dan turbin angin menyuplai daya 36% dan 31% sedangkan sisanya dari generator 32%. Kemudian daya beban naik menjadi 2860 W, panel surya 28%, turbin angin 24% dan generator menambah daya menjadi 38%.

Dari komposisi diatas menunjukkan energi terbarukan berpartisipasi sepenuhnya dalam hal penyuplaian daya ke beban, sedangkan genset berkontribusi menyuplai daya tambahan pada saat energi terbarukan mengalami defisit daya saat terjadi kenaikan beban. Hal ini karena generator digunakan bersama-sama dengan pembangkit energi terbarukan dalam melayani beban.

Generator menyuplai daya tambahan untuk membantu energi terbarukan ketika terjadi kenaikan beban diluar batas kemampuan pembangkit energi terbarukan, sehingga kontinuitas suplai daya beban tidak terganggu. Perbedaan lainnya pada kapasitas generator yang digunakan. Generator yang digunakan pada sistem hibrid ini lebih kecil dibandingkan dengan sebelumnya, sehingga dapat menghemat biaya generator. Selain itu karena generator digunakan hanya pada saat tertentu dengan daya kecil, hanya memerlukan bahan bakar yang sedikit, jadi menghemat biaya untuk operasional generator.

### **C. Pembahasan**

Dari sistem hibrid yang dirancang hasilnya saat terjadi kenaikan beban sumber pembangkit sekunder (generator) akan adaptif untuk melengkapi dalam suplai energi listrik dan fungsi generator sebagai sumber energi pendukung bekerja secara sistematis jika daya beban naik di atas kemampuan pembangkit energi terbarukan.

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya dimana fungsi generator sebagai backup daya apabila pembangkit energi terbarukan mengalami defisit daya saat terjadi penambahan beban atau dalam kondisi perbaikan maka di perlukan ukuran generator dengan kapasitas daya yang sanggup melayani seluruh beban. Hal ini tidak efisien dan ekonomis mengingat harus mengeluarkan biaya yang tinggi untuk menyediakan generator dengan kapasitas besar selain itu biaya yang di keluarkan untuk pengoperasian generator dalam jangka waktu lama berupa bahan bakar dan lain-lainnya.

Perbedaan yang jelas dari sistem sebelumnya yaitu sistem ini memanfaatkan seluruh pembangkit ketika terjadi defisit energi listrik. Pada sistem sebelumnya terdapat daya terbuang yang tidak memanfaatkan secara optimal, dari hal tersebut dengan menggunakan sistem hibrid ini dapat mengoptimalkan kerja pembangkit energi terbarukan dengan pemanfaatan generator sebagai energi pendukung. Hasil modifikasi sistem hibrid ini dari pemanfaatan generator backup menjadi support dapat meningkatkan persentase pemanfaatan energi terbarukan dari 11,73% menjadi 25,94% dan penggunaan generator turun dari 24,5% menjadi 10,3%.

Pembangkit sumber energi terbarukan yang berasal dari energi surya, angin, air, dan lainnya merupakan sumber energi primer, mengingat pembangkit sumber energi terbarukan



---

merupakan sumber energi yang selalu tersedia dan tidak akan habis untuk digunakan kecuali perangkat-perangkat konversi energi atau sistem mengalami kerusakan. Karena itu pembangkit energi terbarukan harus dijaga dan jangan sampai mengalami kerusakan atau gagal bekerja, perbaikan dan perawatan tidak mesti melakukan pemadaman sehingga penyaluran daya terganggu. Setiap pembangkit harus dapat saling menutupi kekurangan dan menjamin kelangsungan suplai daya. Pemanfaatan generator di minimalisir kerjanya yaitu hanya melayani beban-beban tambahan pada waktu-waktu tertentu untuk menghemat biaya operasional sehingga dapat digunakan generator dengan kapasitas yang lebih kecil.

Jika di tinjau dari ketersediaan potensi energi terbarukan tidak disemua daerah memiliki potensi sumber energi terbarukan, tetapi potensi sumber energi surya hampir semua tersedia. Indonesia salah satu negara yang terletak pada garis equator merupakan daerah yang memiliki potensi energi surya terbesar sehingga cocok untuk pembangkit listrik tenaga surya karena mendapatkan intensitas cahaya yang tinggi.

Selain dari pada itu ketersediaan potensi sumber energi terbarukan lainnya seperti potensi tenaga air, tenaga angin, pasang-surut dan lainnya memungkinkan untuk di gabungkan menjadi pembangkit hibrid sehingga dapat saling melengkapi dalam penyaluran daya ke beban. Penggunaan pembangkit dari fosil seperti generator sebisanya di minimalisir karena memerlukan biaya untuk bahan bakar dan perawatan.

Perencanaan sistem hibrid harus mempertimbangkan efisiensi penggunaan daya dan mengurangi penggunaan bahan bakar untuk menghemat cadangan fosil di dunia. Emisi yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar harus di kurangi untuk menciptakan atmosfer yang bersih bagi makhluk hidup. Perkembangan teknologi harus efisien dan ramah terhadap lingkungan untuk kesejahteraan manusia.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil kerja dari rancangan sistem hibrid dengan pemanfaatan generator sebagai daya tambahan (support) energi pembangkit energi terbarukan dan perhitungan efisiensi dari sistem tersebut dapat disimpulkan bahwa:

1. Persentase pemanfaatan energi terbarukan naik dari 11,73% menjadi 25,94%. Pemanfaatan generator turun dari 24,50% menjadi 16,74% dengan efisiensi pemanfaatan pembangkit pada kedua sistem 36,23%.
2. Performansi dari sistem ini yaitu sistem hibrid ini bekerja adaptif menghubungkan generator ketika terjadi penambahan beban atau defisit daya tanpa perlu memutuskan daya dari panel surya atau turbin angin, dan generator akan dipadamkan jika daya beban sesuai dengan kemampuan daya pembangkit energi terbarukan, dengan demikian pemanfaatan generator sebagai support lebih efektif dan efisien dibandingkan pemanfaatan generator sebagai backup.

## REFERENSI

- [1] Isheng Wang, M Hashem Nehrir. Power Management of a Stand-Alone Wind/Photovoltaic/ Energy System. *IEEE Transactions On Energy Conversion*, VOL. 23, NO. 3, September 2008
- [2] S Rehman, A M Mahbub, Meyer, L M. Al-Hadhrani. *Feasibility Study Of A Wind-Pv-Diesel Hybrid Power System For A Village*. Center for Engineering Research, Research Institute, King Fahd University for Petroleum and Minerals, Dhahran-31261. Saudi Arabia. 2010
- [3] Hongxing Yang, Lin Lu, Wei Zhou. A novel optimization sizing for hybrid solar-wind power generation. *RERG Scienc Dirrect, Elsevier*. 2007
- [4] M H Nehrir, C Wang, K Strunz, H Aki, R Ramakumar, J Bing, Z. Miao, and Z. Salameh. A Review of Hybrid Renewable/Alternative Energy Systems for Electric Power Generation: Configurations, Control, and Applications. *IEEE Transactions On Sustainable Energy*, VOL. 2, NO. 4, October 2011
- [5] Luiz A. de S. Ribeiro, Osvaldo R. Saavedra, Shigeaki L. Lima, José G. de Matos. Isolated Micro-Grids with Renewable Hybrid Generation: The Case of Lençóis Island. *ElectricalEngineering Institute, IEE-UFMA*, Av. dos Portugueses s/n, Campus do Bacanga, CEP 65040-080, Brazil, 2008
- [6] Ahmed N. A. Miyatake M. A Stand-Alone Hybrid Generation System Combining Solar Photovoltaic and Wind Turbine with Simple Maximum Power Point Tracking Control. *In Conf. Rec IEEE-IPEMC*, 2006.
- [7] Boyle G. Renewable: power for a sustainable future. Oxford. 2004
- [8] Mendez L, Narvarte L, Marsinach A G. Izquierdo, P. Carrasco, L M Eyras, R. Centralized stand alone PV system in microgrid in Morocco. Photovoltaic Energy Conversion, 2003. *Proceedings of 3rd World Conference on Volume 3*, Page(s): 2326 – 2328. 2003
- [9] Chedid R, Raiman S. Unit sizing and control of hybrid wind-solar power systems. *IEEE Transaction on Energy Conversion*, Vol. 12, No. 1, pp. 79 – 85, 1997.
- [10] La Terra, G. Salvina G. Marco T. G. Optimal Sizing Procedure for Hybrid Solar Wind Power Systems Fuzzy Logic. *In IEEE MELECOM*, Benalmadena (Malaga). Spain, pp. 865 – 868, 2006
- [11] Tom Markvart, Luis Castafier. Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications”, Elsevier Advanced Technology, The Boulevard. Langford Lane, Kidlington, OxfordOX5 1GB, UK, 2003.
- [12] Riad Chedid, Saifur Rahman. Unit Sizing And Control Of Hybrid Wind-Solar Power Systems. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, Vol. 12, No. 1, March 1997
- [13] Dzulfiqar Rais Mushthafa, Mochamad Ashari, Vita Lystianingrum. Optimasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Maximum Power Point Tracker (MPPT) dengan Metode Gradient Approximation. Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS, 2011
- [14] Lena Max. Energy Evaluation for DC/DC Converters in DC-Based Wind Farms. Division of Electric Power Engineering, Department of Energy and Environment, Chalmers University Of Technology, Göteborg, Sweden, 2007
- [15] Muhammad H Rashid. Power Electronics, Third Edition. Prentice Hall, United States of America, 2004
- [16] Sigit Prasetya, M Zaenal Efendi, Sutedjo. Pemanfaatan Harmonisa pada Beban Non Linier Sebagai Sumber EnergiMenggunakan Full Bridge DC-DC Converter dan Inverter. Electronic Engineering Polytechnic Institute of Surabaya (EEPIS), Indonesia, Industrial Electronics Seminar. 2011.
- [17] Liem Ek Bien, Ishak Kasim, Wahyu Wibowo. Perancangan Sistem Hibrid Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Jala-Jala Listrik PLN Untuk Rumah Perkotaan. *JETri, Volume 8, Nomor 1*, Halaman 37-56, ISSN 1412-0372.
- [18] Aryunto Soetedjo, Abraham Lomi, Yusuf Ismail Nakhoda. Pemodelan Sistem Pembangkit Listrik Hibrid Angin dan Surya. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional (ITN) Malang. 2010