

IMPLEMENTASI SISTEM ENERGI HIBRIDA PANEL SURYA PADA *SITE-SITE* TELEKOMUNIKASI DI AREA RURAL

¹Mochamad Mardi Marta Dinata, ²Muhamad Asvial

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang,

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

¹mochamad.mardi@ft.unsika.ac.id, ²asvial@yahoo.co.uk

INFO ARTIKEL

Diterima : 29 Desember 2017

Direvisi : 29 Januari 2018

Disetujui : 16 Maret 2018

Kata Kunci :

Panel surya, *Hybrid energy system*, Rural, Telekomunikasi, Operator, *Cost effective operation*.

ABSTRAK

Luasnya wilayah, keadaan geografis dan tidak meratanya infrastruktur di Indonesia menjadi penyebab tingginya biaya operasional menara telekomunikasi, terutama untuk energi. Teknologi *hybrid energy system* panel surya merupakan salah satu alternatif sumber energi yang bisa digunakan oleh operator untuk menurunkan biaya listrik pada *site* mereka yang berada pada area rural. Penelitian ini bertujuan untuk membangun model perhitungan untuk HES dengan panel surya sebagai sumber energi utama pada *site* telekomunikasi di rural area agar mencapai *cost effective operation*, meningkatkan *reliability* dan efisiensi, yang pada akhirnya dapat menurunkan harga listrik/kWh (COE). Melihat kondisi industri saat ini, efisiensi menjadi hal yang sangat penting bagi operator telekomunikasi di Indonesia. Pada penelitian ini, terbukti bahwa HES dapat memberikan efisiensi pengeluaran operasional sehingga berpengaruh pada penurunan harga listrik/kWh sampai 67%.

I. PENDAHULUAN

Masih banyak lokasi di Indonesia yang tidak memiliki "*population density*" yang cukup untuk melakukan pengembangan *site* (lokasi menara) telekomunikasi secara tradisional. Sedangkan biaya untuk membangun jaringan listrik di area rural bisa mencapai Rp. 369.171.000,- per Kilometer Sirkuit [1] jika dibandingkan daerah urban sebesar USD 6.430 [2] atau sekitar Rp.86.805.000,- per kilometer sirkuitnya. Pertumbuhan menara telekomunikasi di Indonesia berkembang sangat pesat tiap tahunnya, pada laporan *market analysis* yang dikeluarkan GSMA [3], diprediksi jumlah menara telekomunikasi pada tahun 2015 di Indonesia sebanyak 134.426 *site*. Dari 134.426 *site* tersebut, sebanyak 5.722 *site* (4.25%) merupakan *site* tanpa koneksi jaringan listrik (off Grid), dan sebanyak 9.132 *site* (6.79%) yang terkoneksi pada jaringan listrik tidak stabil (*unreliable grid*).

Di Indonesia, awalnya operator-operator telekomunikasi harus mengaktifkan 2 unit diesel generator (DG) secara bergantian untuk mengaktifkan perangkat di *site*. Alternatif ini merupakan solusi yang paling praktis pada saat itu, karena operator hanya perlu menyediakan 2 unit diesel generator yang sesuai dengan *load profile* pada *site* tersebut, bahan bakar yang cukup serta proses instalasi yang sederhana. Tetapi alternatif solusi 2 DG ini menjadi tidak ekonomis karena mahal biaya bahan bakar (termasuk biaya transportasi) untuk mengaktifkan DG setiap hari, umur DG yang menjadi lebih pendek karena intensitas pemakaian yang tinggi dan mahal biaya pemeliharaan. Sistem *Charge-Discharge* atau CDC kemudian dikembangkan untuk mengurangi biaya operasi dan pemeliharaan dengan menggunakan baterai sebagai pengganti salah satu generator. Pada sistem ini, baterai difungsikan sebagai media penyimpanan kelebihan energi yang dihasilkan oleh diesel generator. Sistem ini menggantikan sistem dengan 2 unit DG yang bekerja selama sehabian penuh.

Alternatif ini cukup membantu operator melakukan efisiensi, yaitu penggunaan DG hanya 1 unit saja tiap *site*

dan mengurangi bahan bakar DG karena hanya digunakan antara 12-18 jam (tergantung kapasitas baterai dan DG masing-masing *site*). Tetapi solusi ini dirasa masih terlalu mahal oleh operator karena penggunaan bahan bakar solar yang masih signifikan sehingga harga listrik per kWh-nya masih tinggi. Untuk itu, di Indonesia perlu dilakukan pengembangan sistem CDC yang sudah ada, memanfaatkan sumber energi terbarukan (*renewable energy*) dari matahari yang sangat berlimpah di Indonesia. Pengembangan sistem elektrifikasi yang dimaksudkan adalah penggunaan *Hybrid Energy System* (HES) pada *site* telekomunikasi dengan menggunakan tambahan solar panel untuk menurunkan biaya listrik dan penambahan sistem monitoring dan otomasi yang lengkap untuk meningkatkan *reliability*.

Pada penelitian ini, penulis mencoba menjawab isu besar dalam sistem elektrifikasi *sites* telekomunikasi di rural area dimana harga listrik dengan sistem CDC sebesar Rp.8.400 per kWh (dari hasil pengolahan data awal) yang dianggap masih terlalu mahal dibandingkan dengan harga jual PLN sebesar Rp. 1.524 per kWh [4]. Harga bahan bakar (*on site*) untuk generatorlah yang menjadi salah satu faktor mahal biaya listrik tersebut, dimana menghabiskan 70% dari total biaya energi *site* (*powering cost*) [3].

Adapun tujuan dalam penelitian ini membangun model perhitungan untuk *Hybrid Energy System* (HES) dengan panel surya sebagai sumber energi utama pada *site-site* telekomunikasi di rural area untuk menurunkan biaya listrik serendah mungkin tetapi dengan tetap menjaga kualitas listrik. Ada potensi penghematan biaya operasional (OPEX), khususnya biaya bahan bakar untuk mengaktifkan generator yang dapat dilakukan oleh operator dari total 14.854 *site* telekomunikasi yang belum terkoneksi listrik dan / atau memiliki kualitas dan *reliability* listrik yang kurang baik dengan menggunakan HES.

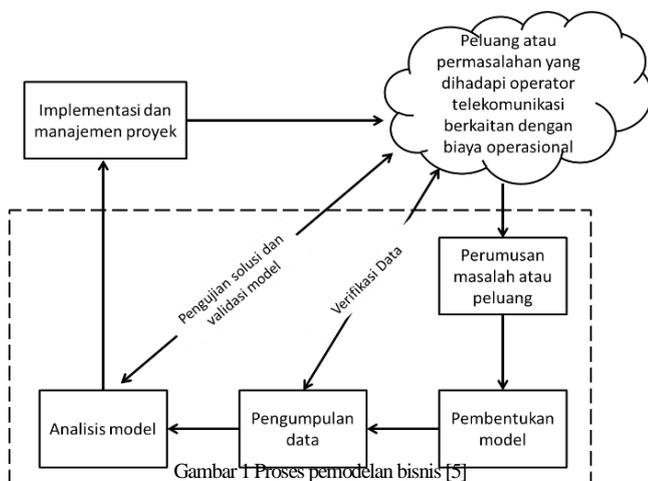
IMPLEMENTASI SISTEM ENERGI HIBRIDA PANEL SURYA PADA *SITE-SITE* TELEKOMUNIKASI DI AREA RURAL

II. METODE PENELITIAN

Akibat kondisi dan lingkungan bisnis saat ini yang cukup kompleks dibanding sebelumnya perlu dipersiapkan pemodelan bisnis sebagai salah satu alat untuk mengambil keputusan. Kompleksitas ini dikarenakan oleh 3 (tiga) hal. Pertama, semakin banyaknya alternatif tetapi waktu untuk mengambil keputusan sangat cepat.

Kedua, biaya yang nantinya akan dikeluarkan sebagai akibat melakukan kesalahan strategi sangat tinggi. Ketiga, konsekuensi hasil keputusan semakin sulit untuk diperkirakan. Pendekatan dalam pemodelan bisnis dalam membuat keputusan adalah menganalisa fenomena yang dapat diukur, mengidentifikasi hubungan yang dapat terukur dan menentukan hubungan sebab akibat.

Definisi model bisnis adalah simplifikasi representasi dari suatu fenomena atau fakta [5]. Lebih lanjut, menurut [5] menjelaskan bahwa lima langkah proses pemodelan yang disebutkan adalah identifikasi masalah atau peluang, pembentukan model, pengumpulan data, analisis model berikut validasinya serta implementasi dan manajemen proyek, dapat dilihat pada Gambar 1 sebagai berikut.



Gambar 1 Proses pemodelan bisnis [5]

A. Tahap perumusan masalah

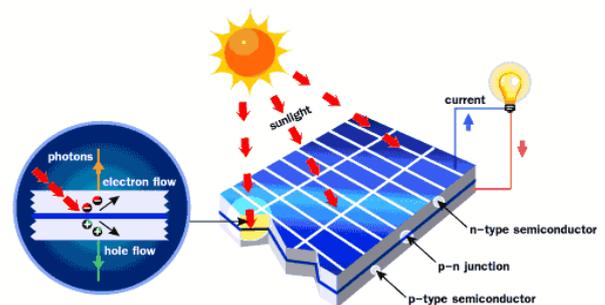
Sebelum lebih dalam membahas perumusan masalah, baik bagi kita untuk dapat memahami terlebih dahulu komponen-komponen utama dalam penelitian ini, diantaranya sebagai berikut:

1. Panel surya dan cara kerjanya

Solar (*photovoltaic*) sel adalah suatu alat yang berfungsi untuk mengubah sinar matahari menjadi energi listrik yang melalui efek *photovoltaic*. Beberapa material semikonduktor yang kita ketahui seperti silikon memiliki efek *photoelectric* yaitu kemampuan material untuk menyerap foton dari cahaya matahari sambil melepaskan elektron bebas, elektron bebas tersebutlah yang dialirkan pada suatu rangkaian sehingga menjadi arus listrik. *Photovoltaic* biasa disingkat PV, yang diambil dari singkatan proses pengkonversian cahaya (*Photon / P*) menjadi tegangan listrik (*Voltage / V*). Sinar matahari

meradiasikan partikel-partikel yang sangat kecil yang disebut foton, saat foton menabrak atom dari silikon terjadilah transfer energi yang mengakibatkan terlepasnya elektron.

Kumpulan elektron bebas yang terlepas tersebut digiring dan diubah menjadi arus listrik melalui proses lompatan elektron antara silikon tipe-n yang memiliki cadangan elektron dengan silikon tipe -p yang kekurangan elektron, lompatan ini terjadi karena adanya ketidakseimbangan elektron. Saat silikon tipe-n dan tipe-p disatukan seperti *wafer* di dalam solar sel, simpanan elektron pada silikon tipe-n akan berpindah untuk mengisi kekosongan elektron ke silikon tipe-p. Ini artinya, silikon tipe-n menjadi bermuatan positif sedangkan silikon tipe-p akan bermuatan negatif yang mengakibatkan terbentuknya medan listrik pada *solar cell*. Karena sifat silikon yang juga berfungsi sebagai isolator, maka ketidakseimbangan elektron ini akan terus terjadi dan akan terus menghasilkan listrik sepanjang solar panel masih mendapatkan paparan sinar matahari.



Gambar 2 Cara kerja panel surya

Tegangan yang dihasilkan oleh sensor *photovoltaic* adalah sebanding dengan frekuensi gelombang cahaya (sesuai konstanta Planck, $E = h \cdot f$). Semakin kearah warna cahaya biru, makin tinggi tegangan yang dihasilkan. Tingginya intensitas listrik akan berpengaruh terhadap arus listrik. Bila *photovoltaic* diberi beban maka arus listrik dapat dihasilkan tergantung dari intensitas cahaya yang mengenai permukaan semikonduktor. Agar dapat lebih dipahami, berikut adalah gambaran dimana *solar cell* dapat menghasilkan arus listrik. *Solar cell* pertama kali secara konvensional diproduksi pada tahun 1950 akhir, kemudian pada akhir 1960-an mulai secara resmi digunakan untuk menyuplai energi listrik pada satelit bumi.

Sejak saat itu, terjadi peningkatan teknologi pembuatan, kinerja serta kualitas PV modul sehingga dapat membantu kita untuk mengurangi pengeluaran untuk energi, dan memungkinkan kita untuk menyediakan energi listrik untuk aplikasi-aplikasi pada area terpencil, seperti radar navigasi, *site-site* telekomunikasi dan perangkat-perangkat kritical lainnya.

IMPLEMENTASI SISTEM ENERGI HIBRIDA PANEL SURYA PADA *SITE-SITE* TELEKOMUNIKASI DI AREA RURAL

2. Baterai (*Battery Storage*)

Baterai berfungsi sebagai tempat penyimpanan energi listrik berlebih yang dihasilkan modul surya pada siang hari maupun diesel generator dalam bentuk energi kimiawi yang akan digunakan sebagai *backup* cadu daya sistem yang ada pada malam hari atau pada saat tidak ada sumber listrik lain yang tersedia. Baterai memiliki spesifikasi, kapasitas serta ukuran yang beragam sesuai dengan kebutuhan implementasi.

3. Diesel Generator (DG)

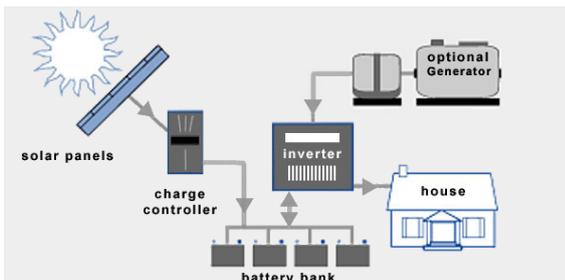
Diesel Generator adalah sebuah perangkat pembangkit listrik dimana sebagai penggerak utamanya (*prime mover*) adalah mesin diesel dan dihubungkan (*couple*) dengan generator listrik dalam satu kerangka dudukan (*base frame*) yang kokoh dan terinstal dengan baik sehingga dapat beroperasi menghasilkan energi listrik sesuai dengan kapasitasnya. Sebagai suatu unit pembangkit listrik yang berpengerak mesin diesel mempunyai bagian-bagian dan sistem yang saling berkaitan erat, yaitu Radiator, *Water Pump*, Dinamo Starter, *Alternator Charging*, *Turbo Charger*, *Injection Pump*, *Engine control panel*, Filter Udara, Filter Bahan Bakar, Filter Pelumas, Stator dan Rotor Utama, *Exciter*, *Automatic Voltage Regulator* dan Kipas Pendingin.

4. Teknologi *Hybrid Energy System* (HES)

Hybrid energy system adalah sistem penyediaan energi yang memanfaatkan sumber energi yang berasal dari alam, seperti cahaya matahari, angin, air dan lain-lain, dalam implementasinya dapat digabungkan dengan sumber listrik utama yaitu PLN ataupun berdiri sendiri tanpa membutuhkan sumber listrik utama untuk menghasilkan energi yang lebih efisien, ramah lingkungan dan dapat diandalkan. Secara implementasi, *hybrid energy system* dapat dibedakan menjadi tiga tipe, sebagai berikut:

a. *Stand-alone off-grid systems* (*Off Grid*)

Sistem ini sama sekali tidak terhubung dengan sumber listrik dari PLN, hanya menggunakan energi yang dihasilkan oleh solar panel sebagai sumber utama, dimana pada saat siang hari akan menyuplai beban perangkat dan juga



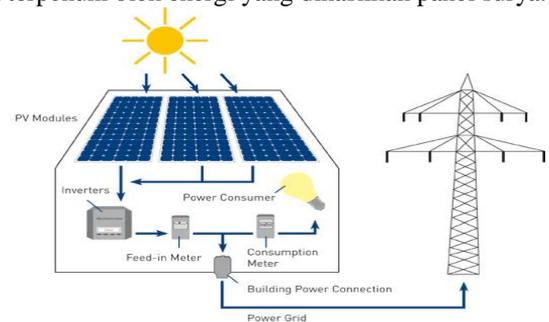
Gambar 3 Off grid hybrid energy system

menyimpan sisa energinya ke baterai untuk digunakan lagi pada saat tidak sinar matahari sudah tidak tersedia.

Untuk memastikan energi yang dibutuhkan selalu tersedia, pada sistem *off-grid* ini selalu dikombinasikan dengan diesel generator sebagai cadangan sumber energi jika energi yang dihasilkan oleh solar panel tidak mencukupi. Sistem *hybrid* tipe ini sangat cocok diaplikasikan untuk *site-site* telekomunikasi yang berada pada area rural (*remote area*).

b. *Batteryless grid-tie systems* (*On Grid*)

Sistem *hybrid* tipe *on grid* ini merupakan yang paling sederhana, hanya membutuhkan panel surya sebagai sumber energi tambahan dimana keluaran arus DC yang dihasilkan akan dikonversi menjadi arus AC oleh *inverter* kemudian dikombinasikan ke sumber listrik utama PLN sehingga penggunaan energi listrik dari PLN dapat dikurangi karena sudah terpenuhi oleh energi yang dihasilkan panel surya.

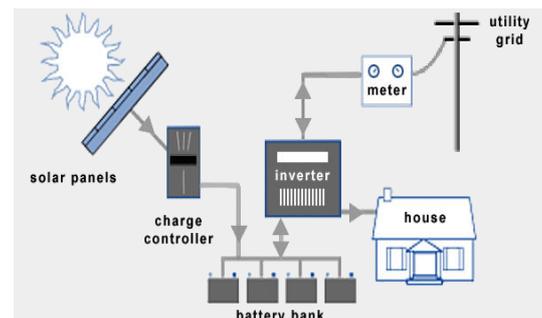


Gambar 4 On grid hybrid energy system

Beroperasi hanya jika sumber listrik dari PLN tersedia, jika tidak ada sumber listrik PLN, maka sistem ini tidak akan bekerja karena tidak terdapat baterai yang bisa digunakan untuk menyimpan energi. Sistem *hybrid* tipe ini sangat cocok aplikasikan untuk rumah tinggal dan perkantoran karena dapat mengurangi biaya listrik yang harus kita bayar setiap bulanya.

c. *Battery-based grid-tie systems* (*Hybrid*)

Sistem ini merupakan kombinasi antara *off grid* dengan *on grid*, dimana terdapat baterai sebagai penyimpan energi dan juga terkoneksi ke sumber listrik utama PLN yang membantu mengurangi konsumsi listrik. Dengan menggunakan sistem ini, pelanggan bisa menghemat penggunaan listrik PLN, bahkan bisa “menjual” listrik berlebih yang dihasilkan oleh panel surya.



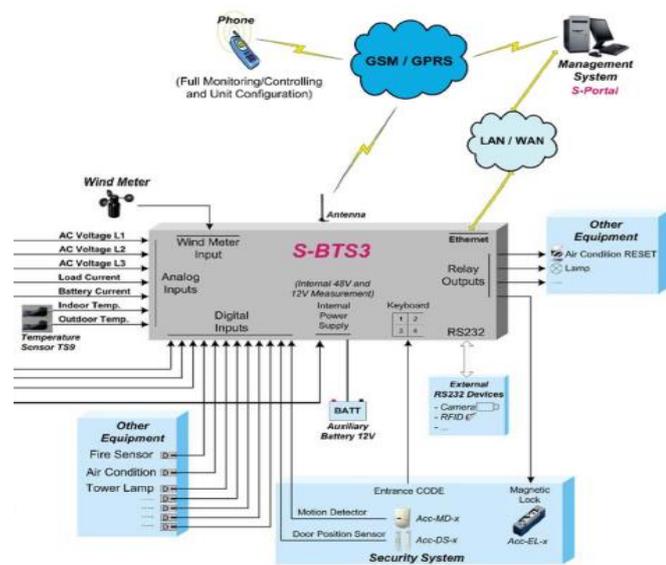
Gambar 5 Battery-based grid-tie hybrid energy system

IMPLEMENTASI SISTEM ENERGI HIBRIDA PANEL SURYA PADA *SITE-SITE* TELEKOMUNIKASI DI AREA RURAL

5. Remote monitoring control

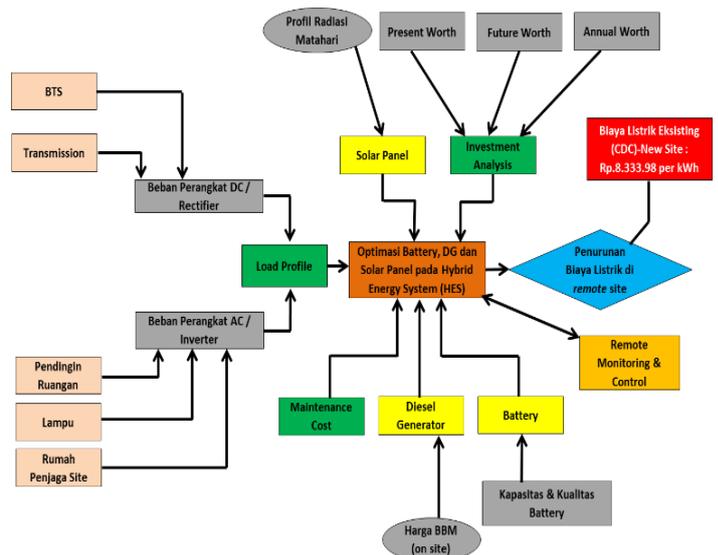
Remote monitoring control berfungsi untuk mengendalikan suplai energi dan beban yang harus dicatu dengan cara memonitor seluruh parameter yang berhubungan dengan *hybrid energy system* misalnya berapa besar energi yang dihasilkan oleh panel surya per hari, berapa kapasitas baterai pada kondisi *charge / discharge*, durasi aktif serta total energi yang dihasilkan dari diesel generator.

Fungsi lainnya adalah memberi peringatan jika terjadi alarm atau kejadian diluar kondisi normal, memudahkan user untuk melakukan analisis, mengetahui secara pasti durasi penggunaan diesel generator serta mengaktifkan/menghidupkan perangkat (Diesel Generator, AC, DC Fan, Lampu dan lain-lain) di *site* secara *remote* tanpa diharuskan pergi ke *site*. Parameter-parameter dari masing-masing komponen di *site* tersebut dimonitor dan diolah oleh perangkat monitoring sehingga data tersebut bisa terbaca. Data tersebut kemudian dikirimkan ke *server* melalui jaringan GSM/GPRS secara berkala ke portal untuk diproses dan dikonversi ke bahasa manusia sehingga mudah dibaca.



Gambar 6 Topologi remote monitoring system (Sumber: White paper comtell energy sistem)

Mengidentifikasi masalah merupakan hal yang dilakukan paling awal pada penelitian ini. Perumusan masalah dilakukan dengan menggunakan diagram keterkaitan antar obyek penelitian atau *influence diagram*. Pada diagram tersebut dapat terlihat komponen apa saja yang terlibat untuk membuat desain yang optimum, tujuan yang akan dicapai, keputusan yang sebaiknya diambil dan masalah-masalah terkait.



Gambar 7 Influence diagram

B. Tahap Pengumpulan Data dan Verifikasi

Parameter-parameter yang diperlukan untuk penelitian ini diperoleh dari literatur-literatur terkait dan dilakukan verifikasi dengan kondisi aktual di lapangan. Selain parameter yang sudah didapat dari literatur, penelitian ini juga akan menggunakan data aktual yang diambil dari sampel *site* sebelum dan sesudah dilakukan implementasi *hybrid energy system*, beberapa data yang dibutuhkan diantaranya sebagai berikut.

TABEL I
RANGKUMAN PROFIL BEBAN SITE

No	Site	Total Beban (Ampere)	Total Beban (Watt)
1	<u>Gelombang</u>	376 A	20304
2	<u>Bukit Tambi</u>	263 A	14202
3	<u>Gunung</u>	205.4 A	11091.6
4	<u>Mata Manis</u>	311 A	16794
5	<u>Miau Baru</u>	506.5 A	27351
6	<u>Labanan</u>	305.5 A	16497
7	<u>KM 62</u>	211.4 A	11415.6
8	<u>Tamparak</u>	162 A	8748 W
9	<u>Sajau</u>	236.2 A	12754.8
10	<u>Makajang</u>	247.2 A	13348.8
11	<u>Krui</u>	346.3 A	18700.2
12	<u>Tebing</u>	430.2 A	23230.8

- Load profile* 12 sampel *site* yang sudah mengimplemetasikan *hybrid energy system*, mengelompokannya menjadi tiga jenis *load profile*;
- Kapasitas diesel generator, panel surya dan kapasitas baterai sampel *site*;
- Total rata-rata penggunaan bahan bakar untuk mengaktifkan diesel generator pada masing-masing sampel *site*;

IMPLEMENTASI SISTEM ENERGI HIBRIDA PANEL SURYA PADA *SITE-SITE* TELEKOMUNIKASI DI AREA RURAL

- d) Desain *hybrid energy system* yang sudah diimplementasikan;
- e) Nilai investasi untuk mengimplementasikan *hybrid energy system* pada sampel *site* dan biaya operasional;
- f) Fluktuasi harga bahan bakar solar non subsidi, suku bunga, nilai tukar rupiah, intensitas radiasi matahari, dll.

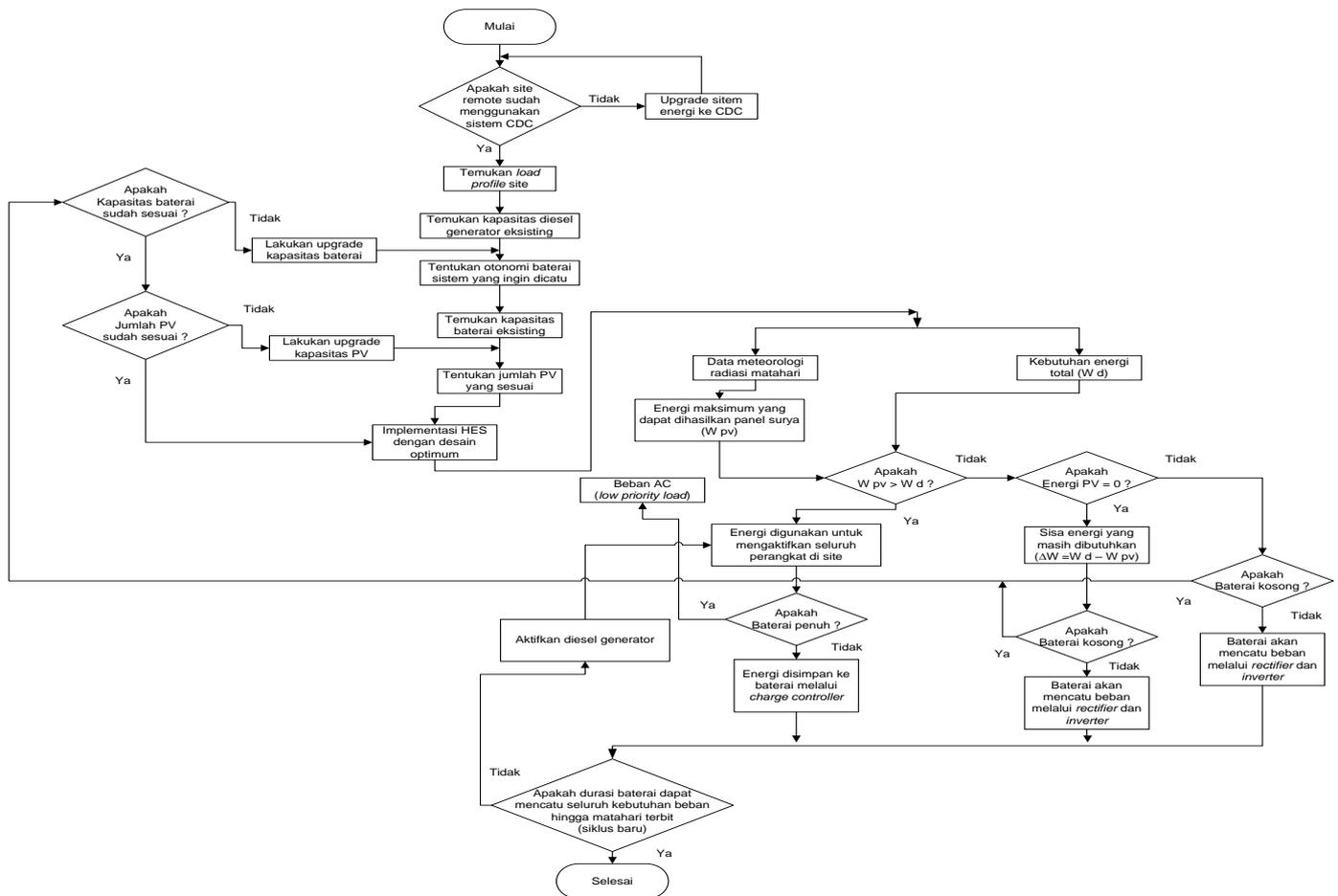
C. Tahap Pembuatan Model

Tahap selanjutnya yaitu tahap pembuatan model, model tersebut dibangun mempertimbangkan keluaran (output) yang diinginkan dengan data (input) yang dibutuhkan. Dari model tersebut dapat diketahui kelayakan dari setiap skenario desain sehingga dapat dijadikan *management tools* yang dapat digunakan oleh pimpinan perusahaan atau instansi yang memiliki kewenangan untuk mengambil keputusan akhir pada kasus serupa di perusahaan telekomunikasi. Secara rinci, metodologi untuk membuat pemodelan desain *hybrid energy system* dapat dilihat pada Gambar 8.

D. Tahap Analisis dan Validasi Model

Pada tahap ini dilakukan pengujian seberapa baik model yang digambarkan di atas merepresentasikan kenyataan yang ada. Pertama, melakukan validasi total penggunaan bahan bakar solar untuk diesel generator, biaya operasional dan harga listrik per kWh pada *site* sampel sebelum dilakukan implementasi *hybrid energy system*. Terakhir adalah analisis kelayakan keekonomian implementasi *hybrid energy system* dengan menggunakan data biaya penggunaan bahan bakar, biaya operasional dan biaya investasi yang digunakan untuk melakukan *roll out hybrid energy system*.

Menganalisis dan membandingkan harga listrik per-kWh pada *site* sampel sebelum dan setelah implementasi. Juga menganalisis apakah proyek implementasi *hybrid energy system* ini *feasible* dan menarik dari sisi bisnis. Secara lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 8 Diagram pemodelan desain hybrid energy system

IMPLEMENTASI SISTEM ENERGI HIBRIDA PANEL SURYA PADA *SITE-SITE* TELEKOMUNIKASI DI AREA RURAL

E. Tahap Pengambilan Kesimpulan

Pada tahap ini kesimpulan akhir akan diperoleh terhadap pengujian hipotesis tentang implementasi *hybrid energy system* pada *site-site* telekomunikasi di *remote* area yang dihasilkan dari model yang dibuat dari *input* penetapan parameter-parameter yang dijadikan dasar pada saat penelitian. Selain itu pada tahap ini juga akan dilakukan identifikasi untuk pengembangan penelitian di masa mendatang.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Desain *Hybrid Energy System*

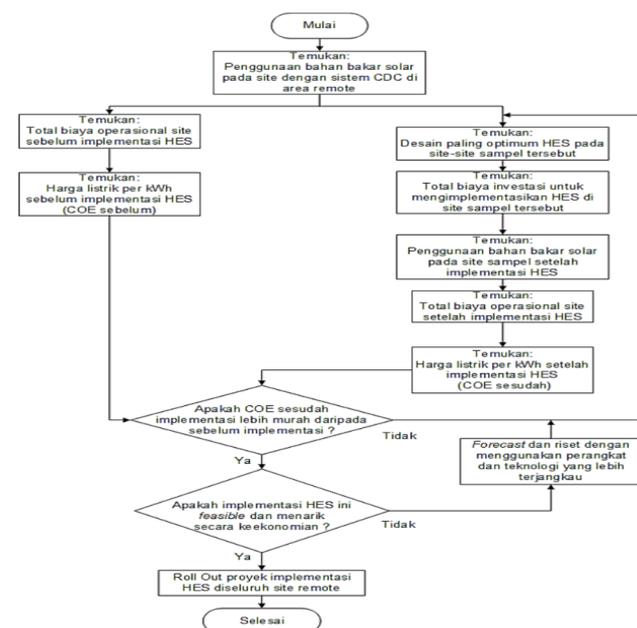
Seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, bahwa pada penelitian ini desain *hybrid energy system* akan dihitung menggunakan perhitungan manual. Mengambil contoh profil beban dari *site* Gelombang, perhitungan dilakukan dalam beberapa tahap, sebagai berikut.

➤ Tahap Pertama

Data profil beban yang sudah didapatkan, dipisahkan menjadi 2 yaitu beban AC dan beban DC. Pemisahan keduanya dikarenakan penggunaan beban keduanya tidak sama, beban DC yang mensupply perangkat telekomunikasi penggunaannya 24 jam. Sedangkan beban AC hanya saat diperlukan saja (rata-rata 8 jam).

Qty.	Appliance	Watts per item	Total Watt	Hours used per day	Total Watt Hour
1	Beban #DC	2,268	2,268	24	54,432
1	Beban #AC	8,084	8,084	8	64,672
		10,352	Watt	119,104	Watthour

Total energi yang harus dipenuhi untuk *site* Gelombang adalah 119,104 Watt hour per harinya.



Gambar 9 Diagram alir (work flow) analisis dan validasi model

➤ Tahap Kedua

Tentukan parameter-parameter pada halaman perhitungan Excel *sheet*. Parameter-parameter tersebut akan menjadi acuan perhitungan dalam mendesain *hybrid energy system*.

Parameters:		
Generation factor (sun peak hour) in Indonesia	5	3,6 - 5 hours
Energy loss in systems	1.3	10 - 30%
Capacity battery will used	1,000	Ah
Nominal voltage	48	V
Efficiency battery/ battery loss	85	%
Dod Battery	80	%
Efficiency Inverter	90	%
Cable loss	2	%
PV module will used	205	Wp
Square of PV	1.6	M ²
Weight	16	Kg
Open circuit voltage (Voc)	41.6	Volt
Current short circuit of PV (Isc)	4.7	Amp
Days of autonomy	1.0	Days 1 - 3 Days
Temp minimum	-40	°C
Temp maximum	30	°C
Temp. Coeficient (Voc)	-0.35	%/°C
Vmax Solar Controller (MPPT)	150	Volt

➤ Tahap Ketiga

Berdasarkan parameter-parameter tersebut, kita akan mulai mendapatkan hasil perhitungan yaitu :

- Total daya (Wp) didapat dari :

$$= \frac{\text{total watt hour (Wh)}}{\text{sun peak hour (h)}} \times \text{losses} \quad (1)$$

$$= \frac{119,104 \text{ Wh}}{5 \text{ h}} \times 1,3$$

$$= 30,967 \text{ Wp (31 kWp)}$$

- Jumlah modul surya yang dibutuhkan :

$$= \frac{\text{total Daya (Wp)}}{\text{kapasitas modul surya (Wp)}}$$

$$= \frac{30,967 \text{ Wp}}{205 \text{ Wp}}$$

$$= 151 \text{ modul surya} \quad (2)$$

- Luas area yang dibutuhkan :

$$= \text{Jumlah modul surya} \times \text{luas per modul} \quad (3)$$

$$= 151 \times 1.6 \text{ m}^2$$

$$= 243 \text{ m}^2$$

➤ Tahap Keempat

Tahap selanjutnya yaitu menentukan kapasitas baterai yang sesuai. Berdasarkan parameter-parameter yang sudah didapatkan sebelumnya, kita dapat menghitung kapasitas baterai sebagai berikut:

- Kapasitas baterai :

$$= \frac{\text{Total energi (Wh)} \times \text{Otonomi (hari)}}{\text{nominal voltage (V)} \times \text{efisiensi baterai (\%)} \times \text{Depth of charge (\%)}}$$

$$= \frac{119,104 \text{ Wh} \times 1}{48 \text{ V} \times 85 \% \times 80 \%}$$

$$= 3,469.02 \text{ Ah} \quad (4)$$

IMPLEMENTASI SISTEM ENERGI HIBRIDA PANEL SURYA PADA *SITE-SITE* TELEKOMUNIKASI DI AREA RURAL

- Jumlah rangkaian baterai :

$$= \frac{\text{Total Kapasitas Baterai}}{\text{Satuan Baterai yang digunakan}} \quad (5)$$

$$= \frac{3,469.02 \text{ Ah}}{1000 \text{ Ah}}$$

$$= 4 \text{ string (bank)} = 96 \text{ cell}$$

Sesuai yang sudah disebutkan sebelumnya, baterai yang digunakan pada penelitian ini adalah baterai dengan kapasitas 1000 Ah.

➤ Tahap Kelima

Menentukan jumlah solar *charge controller* sebenarnya tergantung dari jenis dan kapasitas solar *charge controller* tersebut. Pada penelitian ini, solar *charge* yang digunakan memiliki kapasitas 3200 watt (60 Ampere) per modul.

- Jumlah solar charge controller (MPPT) :

$$= \frac{\text{Total Daya (Watt)}}{\text{Kapasitas modul MPPT}} \quad (6)$$

$$= \frac{30,967 \text{ Watt}}{3200 \text{ Watt}}$$

$$= 10 \text{ modul MPPT}$$

Menggunakan perhitungan yang sama dengan lima tahapan di atas, berikut adalah rangkuman perhitungan desain perangkat yang dibutuhkan untuk *site-site* lainnya.

TABEL 2 RANGKUMAN PERHITUNGAN DESAIN PERANGKAT HYBRID ENERGY SYSTEM

Site	Total Kebutuhan Energi (Wh)	Jumlah Modul surya (pcs)	Kapasitas Baterai (Ah)	Jumlah Baterai (cell)	Jumlah MPPT (modul)
Gelombang	119,104	151	3,649	96	10
Bukit Tambi	104,572	113	3,204	96	9
Gunung Daeng	87,024	110	2,666	72	8
Mata Manis	146,112	185	4,476	120	12
Miau Baru	254,338	323	7,792	192	21
Labanan	145,474	185	4,457	120	12
KM62	15,776	20	483	24	2
Tamparak layung	89,840	114	2,752	72	8
Sajau	48,288	61	1,479	48	4
Makajang	91,840	116	2,814	72	8
Krui	114,720	145	3,515	96	10
Tebing Tinggi	218,200	277	6,685	168	18

B. Analisis Nilai Keekonomian Hybrid Energy System

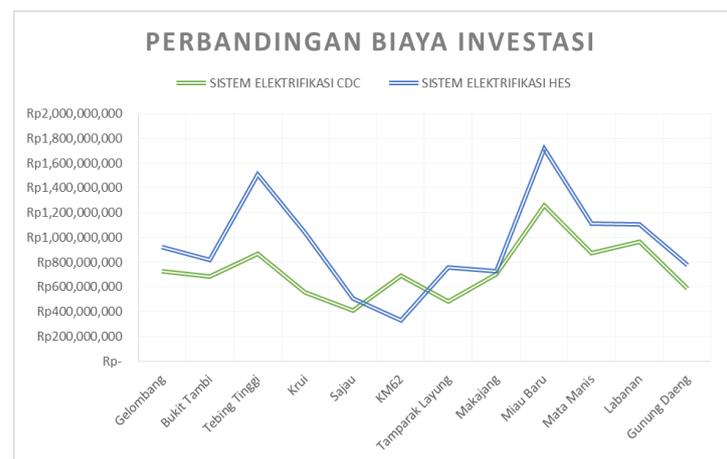
Dalam analisis ini, penulis akan membandingkan nilai keekonomian antara sistem elektrifikasi *site* telekomunikasi di area *rural* secara tradisional dengan yang menggunakan *hybrid energy system*. Sistem tradisional yang dimaksudkan disini adalah sistem elektrifikasi yang masih menggunakan diesel generator dan baterai sebagai komponen utama (sistem CDC), dibandingkan dengan sistem elektrifikasi *hybrid* yang menggunakan tambahan komponen *renewable* energi. Ada 4 komponen yang dibandingkan, yaitu :

1. Biaya Investasi
2. Biaya Operasional & Bahan Bakar
3. Biaya *Cost of Electricity*
4. *Present Worth, Future Worth dan Annual Worth*

Seluruh perhitungan analisis keekonomian pada penelitian ini menggunakan nilai tukar rupiah Rp. 13.500 / USD.

1. Perbandingan Biaya Investasi

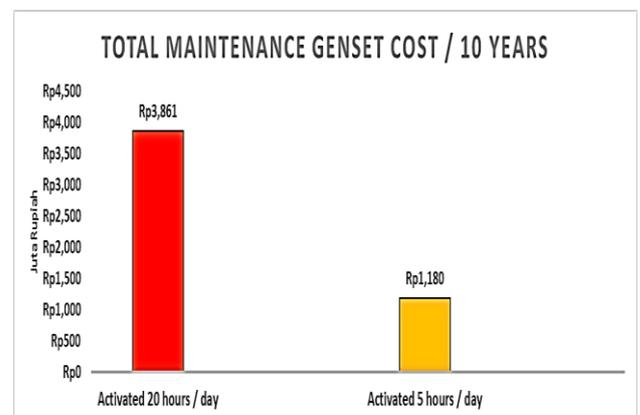
Dari 12 *site* sampel penelitian, dapat diambil rata-rata biaya investasi yang dibutuhkan adalah untuk sistem elektrifikasi CDC pada *site* telekomunikasi yang berada di area rural adalah sebesar Rp 733,822,211,- per *site*, sedangkan untuk implementasi *hybrid energy system* panel surya adalah sebesar Rp 944,072,003,- per *site*.



Gambar 10 Perbandingan Biaya Investasi CDC & HES

2. Perbandingan Biaya Operasional & Bahan Bakar

Diesel generator merupakan perangkat yang harus dilakukan perawatan secara berkala (*periodic maintenance*), dan waktu perawatannya tergantung dengan durasi aktifnya generator tersebut.



Gambar 11 Perbandingan biaya operasional CDC & HES

Jika menggunakan sistem elektrifikasi konvensional CDC dimana diesel generator aktif selama 20 jam/hari, operator telekomunikasi harus mengeluarkan Rp 3,860,914,900,- untuk biaya operasional generator selama

IMPLEMENTASI SISTEM ENERGI HIBRIDA PANEL SURYA PADA *SITE-SITE* TELEKOMUNIKASI DI AREA RURAL

10 tahun. Sementara, jika menggunakan *hybrid energy system*, dimana diesel generator hanya aktif selama 5 jam/hari, operator hanya perlu mengeluarkan biaya sebesar Rp 1,180,414,100,-. Ada penghematan biaya sekitar Rp 2,680,532,800,- yang bisa dilakukan oleh operator. Jika dilihat dari banyaknya penggunaan bahan bakar selama 10 tahun, diesel generator pada sistem CDC akan menghabiskan Rp.2.496.600.000,- untuk belanja bahan bakar, sedangkan pada sistem *hybrid energy system* hanya menghabiskan Rp.748.980.000,-. Ada penghematan sebesar Rp.1.747.620.000 yang bisa dilakukan oleh operator telekomunikasi jika menggunakan elektrifikasi *hybrid energy system* pada siap-tiap *site* mereka yang berada di area rural.



Gambar 12 Perbandingan biaya bahan bakar CDC & HES

3. Perbandingan *cost of electricity* (COE)

Biaya listrik atau biasa disebut dengan *cost of electricity* (coe) adalah besarnya nominal harga yang harus dibayar oleh pelanggan untuk tiap satuan energi yang digunakan (kWh). Mengolah data dari jurnal [6], *cost of energy* untuk sistem *solar Cell Hybrid Energy System* merupakan pembagian antara biaya produksi energi (sampai tahun ke-n) dengan total energi yang dihasilkan solar panel (sampai tahun ke-n) dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\text{Cost of Electricity} = \frac{C_n}{\text{Total Energy Produced (n year)}}$$

$$\text{Cost of Electricity} = \frac{IC_0(1 - \gamma) + FC_n + VC_n - Y_n}{\text{Total Energy Produced (n year)}} \quad (7)$$

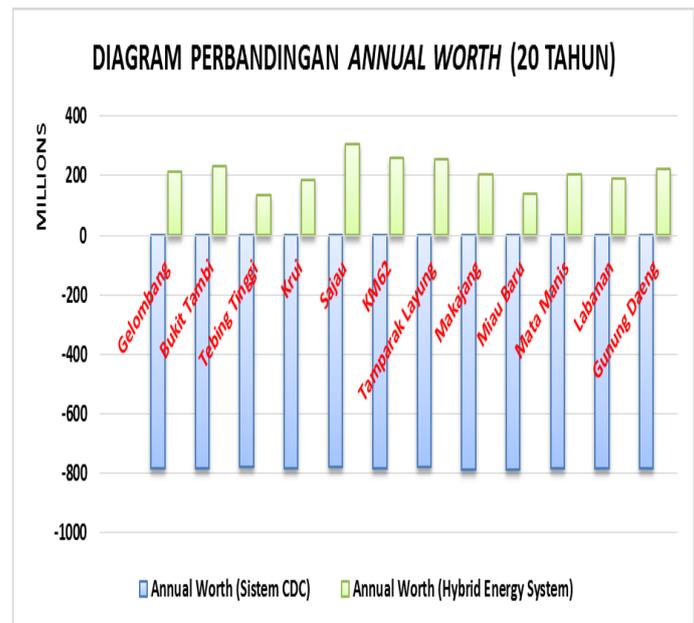
Dimana :

- C_n = Biaya Produksi Energi (tahun ke n)
- IC_0 = Biaya Investasi / Instalasi Pertama (*Initial Cost*)
- γ = Nilai Subsidi dari pemerintah (%)
- FC_n = Biaya *Maintenance* & Operasional Tetap (*Fixed Cost*)
- VC_n = Biaya *Maintenance* & Operasional Tidak Tetap (*Variable Cost*)
- Y_n = Nilai Residual Investasi (*Residual Value of Investment*)
- TEP = Total Energy Produced per tahun x n (kWh)

Dari hasil perhitungan menggunakan rumus di atas, didapatkan bahwa COE dari *hybrid energy system* lebih rendah daripada COE dengan menggunakan sistem CDC. Hal ini disebabkan diantaranya oleh, *fixed maintenance cost* dan *variable maintenance cost* sistem CDC yang jauh lebih mahal daripada *hybrid energy system*. Secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 14.

4. Perbandingan *Present Worth*, *Future Worth* dan *Annual Worth*

Komponen terakhir dalam menentukan nilai keekonomian implementasi *hybrid energy system* panel surya adalah menghitung *present worth*, *future worth* dan *annual worth*.

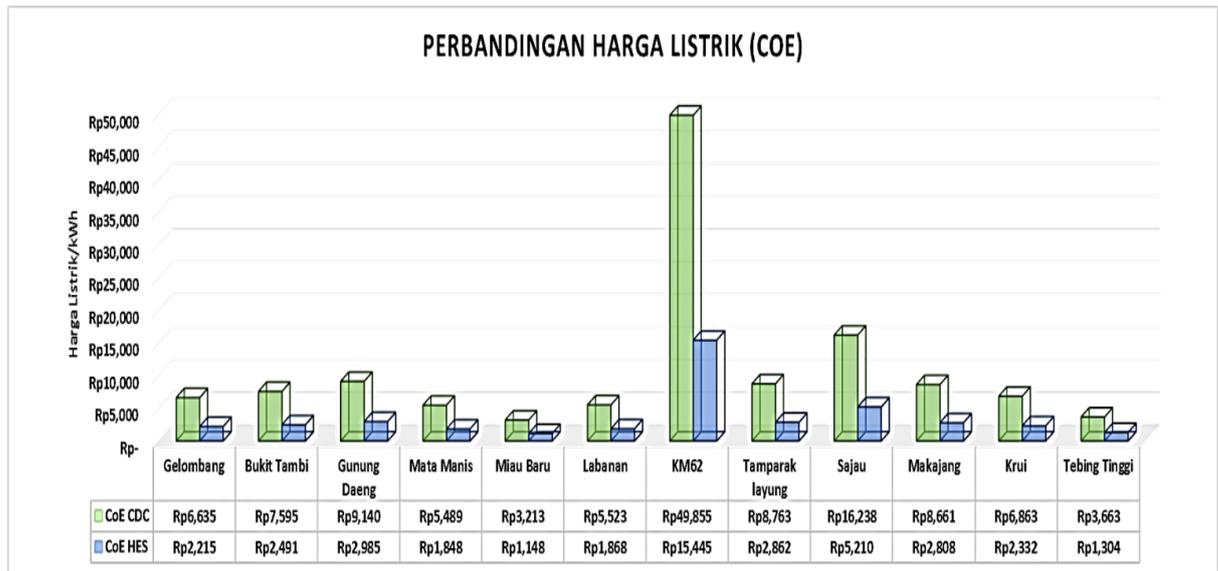


Dari gambar di atas dengan jelas kita dapat melihat bahwa *annual worth* selama 20 tahun masa studi untuk

Gambar 13 Perbandingan annual worth CDC & HES

pemasahan *hybrid energy system* memiliki nilai positif, sementara untuk sistem CDC memiliki AW negatif. Sistem CDC memiliki AW negatif karena kita sudah tidak menghitung biaya investasi (*site* eksisting) dan hanya ada arus kas yang keluar untuk pembelian bahan bakar dan perawatan generator. Sedangkan setelah dipasang *hybrid energy system*, walaupun ada investasi besar di awal pemasangan dan biaya pergantian baterai setiap 3 tahun sekali, tetapi menghasilkan penghematan yang signifikan terhadap biaya yang dikeluarkan untuk perawatan dan pembelian bahan bakar sehingga AW positif.

IMPLEMENTASI SISTEM ENERGI HIBRIDA PANEL SURYA PADA *SITE-SITE* TELEKOMUNIKASI DI AREA RURAL



Gambar 14 Perbandingan harga listrik / kWh (CoE)

IV. KESIMPULAN

Model perhitungan *Hybrid Energy System* (HES) menggunakan panel surya yang dibangun pada penelitian ini terbukti memberikan *Cost of Electricity* (CoE) yang lebih murah hingga 67% daripada sistem CDC. Jika diambil rata-rata dari ke-12 *site* sampel, CoE untuk sistem CDC adalah sebesar Rp.10,969/kWh sedangkan HES panel surya hanya sebesar Rp.3,543/kWh. Oleh karena itu, *Hybrid Energy System* sangat cocok diterapkan sebagai alternatif elektrifikasi *site* telekomunikasi di area rural. Walau biaya investasi yang harus dikeluarkan diawal lebih besar daripada sistem CDC, tetapi HES akan memberikan penurunan biaya operasional dan efisiensi biaya pemeliharaan yang lebih baik.

Jika menurut data GSMA [3] ada sebanyak 14.854 *site* telekomunikasi di Indonesia yang belum terkoneksi listrik dan/atau memiliki kualitas dan *reliability* listrik yang kurang baik dikalikan dengan rata-rata penghematan yang didapat jika menggunakan HES yaitu sebesar Rp.442,815,280 per tahun, maka ada potensi penghematan OPEX tiap tahunnya sebesar Rp.6,577,578,169,120,- (6,6 triliun rupiah).

V. DAFTAR RUJUKAN

- [1] Elif D, Merliska. (2015). *Kelayakan Teknis dan Ekonomi Pemanfaatan Compressed Biomethane Dari Limbah Cair Kelapa Sawit*, Tesis magister, Departemen Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Jakarta.
- [2] Yilmaz, S., Ozcalik, H R., Aksu, M., Karapinar, C., (2015), *Dynamic Simulation of a PV-Diesel-Battery Hybrid Plant for Off Grid Electricity Supply*, Turkey: Kahramanmaraş, Turkey Faculty of Engineering.
- [3] *Greening the Network: Indonesia Market Analysis (Sizing Potential for Green Power in Indonesia) April 2013*, Netherland: GSMA.
- [4] Hartono, J. (2013). *Metodologi penelitian bisnis – salah kaprah dan pengalaman-pengalaman* (edisi 6). Yogyakarta: BFE UGM.
- [5] Meredith, J., Shafer, S., & Turban, E. (2002). *Quantitative business modeling*. USA: South-Western Thomson Learning.
- [6] J. K Kaldellis., I. Ninou., D. Zalfirakis., 2011. *Minimum long-term cost solution for remote telecommunication stations on the basis of photovoltaic-based hybrid power systems*. Energy Policy 39 (2512–2527), Philadelphia; Elsevier.