



Tinjauan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu sebagai Sumber Daya Utama Menggantikan PLN dan Genset terhadap *Energy Security* pada Infrastruktur di Pulau Terpencil/Terluar

Judo Ignatius Nempung^{1*}, Eva Magdalena Silalahi², Edward Baringin Oloan Sihite³, Stepanus⁴

^{1,2,3,4} Tenaga Pendidik Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Kristen Indonesia, Jakarta

Email : judo.nempung@uki.ac.id^{1*}

Abstrak

Listrik memiliki peran penting sebagai sumber daya infrastruktur telekomunikasi selular (BTS) dalam menjamin kontinuitas penyediaan telekomunikasi antar pelanggan karena bisa berdampak pada kerugian baik bagi pihak operator maupun pelanggan. Listrik dari PLN yang setiap harinya *shutdown* selama 2 jam menjadi masalah penting dan harus dicari alternatif konfigurasi *hybrid* sumber daya listriknya. Sumber daya existing dirasa masih kurang dari segi ketahanan energi *BTS system*. Namun sumber listrik juga memiliki peran penting dan strategis dalam pembangunan berkelanjutan dengan memperhatikan aspek sosial, ekonomi dan lingkungan. Hal tersebut dapat dilihat dalam peraturan pemerintah No. 79 Tahun 2014 tentang kebijakan Energi Nasional (KEN). Alternatif konfigurasi pengganti disajikan untuk mencari konfigurasi lebih baik dengan mengutamakan penggunaan energi terbarukan seperti PLTB. 3 elemen dan dimensi 4A digunakan untuk menentukan alternatif terbaik disamping alternatif usulan utama yang menggunakan PLTB sebagai sumber daya utama. Aspek ekonomi dan lingkungan akan diperlihatkan juga untuk mengetahui perbedaan semua alternatif termasuk yang *existing*. Kalkulasi menggunakan persamaan HHI untuk mencari indeks tunggal *power sharing* sumber daya listrik dan persamaan normalisasi untuk mencari nilai min –max indikator relatif setiap konfigurasi. Bobot masing-masing indikator relatif dibuat rata atau berbobot sama karena tidak ada penekanan pada indikator tertentu. Hasil dengan ketahanan energi terbaik dapat dilihat pada angka *energy security index* terbesar yang diperlihatkan pada tabel.

Kata kunci : *BTS, PLN shutdown, konfigurasi alternatif, PLTB, indikator elemen, indikator relative, Energy Security Index (ESI)*

Abstrak

Electricity has very important things as a cellular telecommunications infrastructure (BTS) resource in ensuring the continuity of telecommunications provision between customers because it can have an impact on losses for both operators and customers. Electricity from PLN, which is shut down for 2 hours, is an important problem every day and must find alternative hybrid configurations for its electricity resources. Existing resources are still considered insufficient in terms of BTS system energy security. However, electricity sources also have an important and strategic role in sustainable development by paying attention to social, economic and environmental aspects. This can be seen in government regulation No. 79 of 2014 concerning the National Energy policy (KEN). The alternative replacement configurations are presented to find the best configuration by prioritizing the use of renewable energy such as PLTB. 3 elements and dimensions of 4A are used to determine the best alternative in addition to the main proposed alternative that uses PLTB as the main power supply. Economic and environmental aspects will also be shown to find out the differences in all alternatives including existing ones. The calculation uses the HHI equation to find the single index of power sharing power

sources and the normalization equation to find the relative min –max value of the indicator of each configuration. The weight of each indicator is relatively made flat or equally weighted because there is no emphasis on a particular indicator. The results with the best energy security can be seen in the largest energy security index figures shown in the radar tables and graphs.

Keywords : *BTS, PLN shutdown, alternative configuration, PLTB, element indicators, relative indicators, Energy Security Index (ESI)*

PENDAHULUAN

Seperti kita ketahui bersama *issue* bahan bakar fosil akan habis hanya dalam beberapa puluh tahun ke depan dan sudah cukup menjadi perhatian penting bagi banyak negara di dunia termasuk Indonesia. Bahan bakar fosil maupun *renewable energy* sangat memainkan peranan penting karena merupakan bagian penting dalam hubungannya dengan ketahanan energi. atau dengan kata lain tergantungnya persediaan bahan bakar fosil dan besarnya pemakaian *renewable energy* saat ini sampai dengan beberapa puluh tahun ke depan akan menentukan besar-kecilnya ketahanan energi.

Dalam telekomunikasi seluler, komponen yang paling penting yang menghubungkan antara operator seluler dan pesawat telekomunikasi pengguna adalah *Base Transceiver Station* atau biasa dibilang BTS. Tanpa BTS atau apabila BTS mati, maka sistem komunikasi ini akan terhenti dan akan membuat kerugian baik kepada operator seluler sebagai pemilik BTS maupun pengguna pesawat telekomunikasi. Sebagai contoh yang masih mudah diingat adalah saat terjadinya shutdown pembangkit listrik di beberapa pembangkit di pulau Jawa pada tahun 2019, penyelesaian masalah shutdown ini terhambat dikarenakan power supply untuk BTS atau operator terhenti. Untuk mengantisipasi kejadian itu tidak terulang lagi, diperlukan sumber daya listrik yang handal yang dapat memberikan kontinuitas pelayanan 24 jam perhari nonstop.

Berdasarkan data dari laman Katadata.co.id yang dipublikasikan oleh Ihya Ulum Aldin pada 30 Oktober 2019, Telkom memperoleh pendapatan dari bisnis seluler dan data sebesar Rp. 41,24 triliun sampai dengan triwulan ketiga 2019 dan berdasarkan data dari laman Bisnis.com yang dipublikasikan oleh Leo Dwi Jatmiko jumlah BTS Telkom sampai dengan triwulan ketiga 2019 adalah 22.000. Bila kita asumsikan setiap BTS memberikan kontribusi pendapatan yang sama, maka pendapatan setiap BTS bisa kita asumsikan yaitu Rp. 41,24 triliun / 22.000 BTS = Rp. 1.874.545.450,-. Dengan begitu asumsi pendapatan per BTS per jamnya adalah Rp. 1.874.545.450,- / 6.480 jam = Rp. 289.281,705. Bila kita hitung kerugian Telkom bila listrik PLN *shutdown* 2 jam setiap hari di pulau Pari, maka kerugian Telkom adalah Rp. 289.281,705 x 2 jam = Rp. 578.563,41. Bila kita hitung kehilangan pendapatan Telkom selama setahun sebesar Rp. 578.563,41 x 365,25 hari = Rp. 211.320.286,-. Untuk itu sangatlah penting memastikan kontinuitas pelayanan 24 jam dengan menaikkan ketahanan energi di BTS *system* tersebut.

Pembangkit listrik pada BTS di pulau Pari ini, saat ini sudah menggunakan *hybrid system* yaitu menggunakan PLN, genset, *fuel cell* dan *battery*. Namun dalam hal ini, sumber daya listrik ini masih banyak mengandalkan bahan bakar fosil baik itu PLN maupun genset. Sedangkan untuk *fuel cell* masih mengandalkan metanol yang pengadaannya masih bergantung pada beberapa faktor seperti pengiriman dari luar pulau. Disamping itu juga masih menghasilkan polusi walaupun relatif lebih kecil dibanding bahan bakar *diesel*.

Kalau bicara biaya listrik antara PLN, *fuel cell* dan genset maka PLN menempati urutan terkecil disusul *fuel cell* dan kemudian genset yang terbesar. Hanya saja berdasarkan *site survey*, PLN di area BTS pulau Pari setiap harinya pasti padam kurang lebih selama 2 jam. Walaupun ada sumber daya lain sebagai backup seperti genset, namun genset masih menghasilkan emisi CO₂ yang cukup besar. Penghasil polusi ketiga terbesar pada sistem ini adalah *fuel cell*.

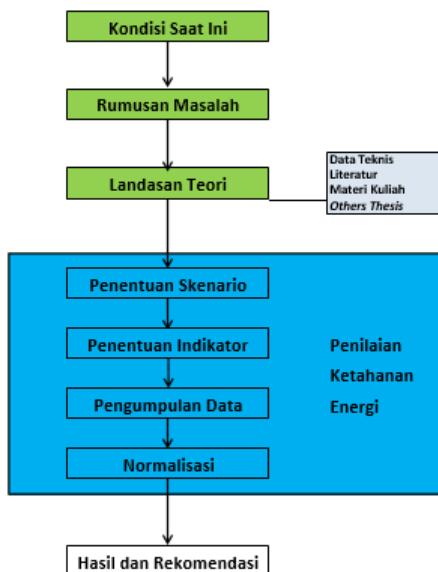
Tulisan ini mencoba melakukan penelitian berdasarkan saran yang disampaikan pada tesis saudara Iskandar Zulkarnaen ST. MT. untuk menggunakan sumber daya alternatif lain sebagai sumber daya BTS. Dan

penulis memilih untuk melakukan penelitian dengan menggunakan pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) dimana merupakan pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan. Jadi penulis akan mencoba mengganti system *hybrid* yang sudah ada dengan system *hybrid* yang baru yang total menggunakan energi terbarukan dengan tetap mengutamakan kontinuitas pelayanan 24 jam sehari.

Tujuan dalam penulisan ini adalah menentukan indikator apa saja yang paling menentukan atau yang utama untuk mengukur level ketahanan energi pada BTS *system* di pulau Pari, mengetahui skenario alternatif apa untuk mencoba menaikkan ketahanan energi pada BTS *system* di pulau Pari, mengetahui bagaimana mengukur ketahanan energi berdasarkan indikator yang sudah ditentukan dan menentukan dampak usulan skenario terhadap aspek ekonomi dan lingkungan.

METODE

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan dengan flowchart seperti dibawah ini :



Gambar 1. Flowchart Penelitian

Terdapat dua skenario, di mana satu di antaranya adalah existing menggunakan sumber daya utama PLN sedangkan satunya menggunakan sumber daya utama PLTB yang mana scenario kedua ini akan dilihat pengaruhnya terhadap ***energy security***. Untuk menentukan ketahanan energi, digunakan tiga elemen yaitu fisik, ekonomi, dan lingkungan. Dari ketiga elemen tersebut, ditentukan empat dimensi indikator yang terdiri dari ketergantungan impor, power sharing, biaya produksi energi, dan emisi CO₂. Selanjutnya, indikator mutlak atau indikator elemen untuk semua konfigurasi ditentukan dan dimasukkan ke dalam tabel.

Penghitungan indeks ketahanan energi (ESI) dengan menggunakan indikator relatif yang diperoleh dari normalisasi indikator elemen. Untuk mendapatkan indikator relatif dari diversifikasi atau power sharing (E2), terlebih dahulu perlu dicari angka HHI (Herfindel-Hirschman Index) menggunakan persamaan HHI. Kemudian persamaan indicator elemen digunakan untuk menghitung indikator relatif (normalisasi). Setelah mendapatkan semua indikator relatif, ESI dapat dihitung menggunakan persamaan indicator relatif dengan nilai bobot setiap indikator yang sama. Hasil ESI dapat dilihat pada tabel indikator relatif beserta ESI. Waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Oktober 2019 sampai dengan Januari 2020. Tempat penelitian dilakukan pada BTS yang dibangun di pulau Pari Kepulauan Seribu dan di kediaman penulis.

HASIL DAN PEMBAHSAN

Hasil Uji Dan Analisa

Konfigurasi dan Hasil Analisa

Konfigurasi yang dimaksud disini adalah konfigurasi antara sumber daya utama maupun backup dengan BTS sebagai beban. Sedangkan hasil analisanya berupa *energy security index* (ESI) yang didapat dari semua indikator mutlak dari semua konfigurasi.

Konfigurasi BTS dan Sumber Daya

Konfigurasi BTS dan sumber daya ini akan saya buat dalam 2 konfigurasi yaitu satu konfigurasi adalah konfigurasi existing dan satunya adalah konfigurasi alternatif dengan menggunakan PLTB sebagai sumber daya utama. Tujuannya adalah agar bisa terlihat perbedaan ketahanan energi untuk kedua konfigurasi dengan perbedaan sumber daya utamanya. Termasuk juga untuk melihat kelebihan dan kekurangan dari sisi lain seperti biaya listrik per KWh dan emisi CO₂ terendah dan terbesar.

Konfigurasi BTS dengan sumber daya utama PLN dengan *backup genset, fuel cell dan battery*.

Konfigurasi ini adalah konfigurasi *existing* yang sekarang digunakan pada BTS *system* di pulau Pari dimana menggunakan sumber daya utama PLN dengan *backup power* menggunakan genset, *fuel cell* dan *battery*. Konfigurasi ini sama dengan salah satu konfigurasi yang diteliti pada tesis yang dibuat oleh saudara Iskandar Zulkarnaen ST. MT.



Gambar 2. Konfigurasi PLN dengan *backup genset, fuel cell dan battery*

Cara kerja :

Pada kondisi normal, BTS mendapat suplai listrik dari PLN. Pada saat PLN di pulau Pari mati selama +/- 2 jam, *fuel cell* akan mengcover BTS. Sebelum sumber daya pindah ke *fuel cell* selama +/- 115 menit, *battery* akan mengcover listrik selama +/- 5 menit agar listrik tidak mati sama sekali. Genset akan mensuplai listrik bila *fuel cell* ada perawatan atau *fuel cell* ada masalah. Berdasarkan cara kerja ini, maka power sharing pada konfigurasi ini dapat diasumsikan :

$$\text{PLN : Genset : Fuel Cell : Battery} = 90\% : 2,5\% : 5\% : 2,5\%$$

BTS dengan sumber daya utama PLTB dengan *backup fuel cell dan battery*

Konfigurasi ini adalah salah satu yang diusulkan untuk menggantikan PLN dan genset yang menghasilkan emisi CO₂ terbanyak. Konfigurasi ini yang kita usulkan dan akan kita teliti dalam hubungannya dengan ketahanan energi di BTS system ini.



Gambar 3. Konfigurasi Wind generator dengan backup fuel cell dan battery

Cara kerja :

Pada kondisi normal atau kecepatan angin cukup untuk wind generator menghasilkan listrik sebesar 5 KW, maka wind generator akan menyuplai listrik untuk BTS secara cukup. Pada saat kecepatan angin tidak cukup untuk menghasilkan listrik 5 KW, maka fuel cell akan membackup untuk mengkompensasi kekurangan daya wind generator. Fungsi battery membackup waktu transisi dari wind generator ke fuel cell atau sebaliknya.

Berdasarkan cara kerja ini, maka power sharing pada konfigurasi ini dapat kita asumsikan :

PLTB : Fuel Cell : Battery = 45% : 45% : 10%

Hasil analisa

Dari berbagai konfigurasi yang diperlihatkan di depan, dapat dianalisa indikator ketahanan energinya. Indikator ketahanan energi yang direpresentasikan beberapa konfigurasi didepan adalah dari:

- Ketergantungan impor listrik, E1
- Diversifikasi sumber energi, E2
- Total biaya pembangkitan per hari, E3
- Total CO₂ emission per hari, E4

Perhitungan indikator elemen masing-masing konfigurasi adalah sebagai berikut

Konfigurasi BTS dengan sumber daya utama PLN dengan backup genset:

fuel cell dan battery.

E1 = 90%, 90% impor listrik dari PLN. Genset dan Fuel Cell tersedia di dalam area BTS.

E2 = HHI 4 sumber daya, dengan power sharing $90\% : 2,5\% : 5\% : 2,5\% = 0,9^2 + 0,025^2 + 0,05^2 + 0,025^2 = 0,815$

E3 = Total biaya PLN + genset + Fuel Cell + Battery.

Tarif PLN Rp. 1.467,28/KWh ; Biaya PLN/hari = Rp. 1.467,28/KWh x 24 x 90% = Rp. 31.693,248

Harga diesel = Rp. 8.200,-/ltr; Biaya genset = Rp. 8.200,-/ltr x 2,27 ltr/KWh x 24 x 2,5% = Rp. 11.168,4,-

Harga Methanol, Rp. 7.500,-/liter, Biaya Fuel Cell = Rp. 7.500,-/liter x 1,1 ltr/KWh x 24 x 5% = Rp. 9.900,-

Biaya Battery = Rp. 0,-

Jadi E3 = Rp. 31.693,248 + Rp. 11.168,4 + Rp. 9.900,- + Rp. 0,- = **Rp. 52.761,648**

E4 = emisi PLN + emisi Genset + emisi Fuel Cell + emisi Battery = $(929 \text{ g CO}_2/\text{KWh} \times 24 \times 90\%) + (1.500 \text{ g CO}_2/\text{KWh} \times 24 \times 2,5\%) + (700 \text{ g CO}_2/\text{KWh} \times 24 \times 5\%) + 0 = 20.066,4 \text{ g CO}_2/\text{hari} + 900 \text{ gr CO}_2/\text{hari} + 840 \text{ g CO}_2/\text{hari} + 0 = 21.806,4 \text{ g CO}_2/\text{hari}$

Konfigurasi PLN dengan backup Genset dan Battery

E1 = 91,67%, 91,67% impor listrik dari PLN. Genset dan Battery tersedia di dalam area BTS system.

E2 = HHI 3 sumber daya, dengan power sharing 91,67% : 7,29% : 1,04%

$$= 0,09167^2 + 0,0729^2 + 0,0104^2 = \mathbf{0,845}$$

E3 = Total biaya PLN + genset dan *Battery*.

Tarif PLN Rp. 1.467,28/KWh ; Biaya PLN/hari = Rp. 1.467,28/KWh x 24 x 91,67%

$$= \text{Rp. } 32.281,33$$

Harga diesel = Rp. 8.200,-/ltr; Biaya genset = Rp. 8.200,-/ltr x 2,27 ltr/KWh x 24 x 7,29% = Rp. 32.567,-.

Biaya *Battery* = Rp. 0,-

$$\text{Jadi E3} = \text{Rp. } 32.281,33 + \text{Rp. } 32.567,- + \text{Rp. } 0,- = \mathbf{\text{Rp. } 64.848,33}$$

E4 = emisi PLN + emisi Genset + emisi *Battery* = $(929 \text{ g CO}_2/\text{KWh} \times 24 \times 91,67\%) + (1.500 \text{ g CO}_2/\text{KWh} \times 24 \times 7,29\%) + 0 = 20.438,74 \text{ g CO}_2/\text{hari} + 2.624,4 \text{ g CO}_2/\text{hari} + 0$

$$= \mathbf{23.063,14 \text{ g CO}_2/\text{hari}}$$

Konfigurasi BTS dengan sumber daya utama PLTB dengan *backup fuel cell* dan *battery*.

E1 = 0%, gabungan dari PLTB, Fuel Cell (methanol) dan Battery, sehingga listrik tidak bergantung impor.

E2 = HHI 3 sumber daya, dengan asumsi power sharing 45% : 45% : 10%

$$= 0,45^2 + 0,45^2 + 0,1^2 = \mathbf{0,416}$$

E3 = Total biaya PLTB, *Fuel cell*. Dan *Battery*.

LCoE PLTB = Rp. 972,65/KWh ; Biaya PLTB = Rp. 972,65 x 24 x 45%

$$= \text{Rp. } 10.504,62$$

Harga Methanol, Rp. 7.500,-/liter, Biaya Fuel Cell = Rp. 7.500,-/liter x 1,1 ltr/KWh x 24 x 45% = Rp. 89.100,-

Biaya Battery = Rp. 0,-

$$\text{Jadi E3} = \text{Rp. } 10.504,62 + \text{Rp. } 89.100,- + \text{Rp. } 0,- = \mathbf{\text{Rp. } 99.604,62}$$

E4 = emisi PLTB + emisi *Fuel Cell* + emisi *Battery* = 0 + $(700 \text{ g CO}_2/\text{KWh} \times 24 \times 45\%) + 0 = 7.560,- \text{ g CO}_2/\text{hari}$.

Dari semua perhitungan diatas dari 4.1.2.1.sampai dengan 4.1.2.5. didapat nilai absolut indikator elemen sebagaimana terlihat pada tabel dibawah :

Tabel 1. Indikator Elemen Semua Konfigurasi

Konfigurasi	E1 (%)	E2	E3 (Rp/hr)	E4 (g CO ₂ /hr)
PLN + Genset + FC + battery	90	0,815	52.761,65	21.806,40
PLTB + FC + Battery	0	0,416	99.604,62	7.560,00

Dimana :

E1 : Ketergantungan impor listrik (%)

E2 : Diversifikasi dari sumber daya (power sharing)

E3 : Unit cost, biaya pembangkitan listrik (Rp./ hari)

E4 : Emisi total sumber daya per hari (g CO₂ / hari)

Dari tabel 1 diatas bisa kita simpulkan beberapa hal sebagai berikut :

- Biaya listrik atau biaya pembangkitan listrik yang cukup kecil ada pada konfigurasi pertama yang menggunakan PLN sebagai sumber daya utama. Itulah sebabnya banyak operator seluler masih mengandalkan PLN sebagai sumber daya utama BTS nya agar biaya operasional kecil.
- Polusi atau penghasil CO₂ terbesar dihasilkan pada konfigurasi existing. Ini disebabkan karena keduanya menggunakan PLN dimana pembangkit listrik yang digunakan PLN masih didominasi oleh penggunaan

- bahan bakar fosil dalam hal ini batubara.
- c. Polusi atau penghasil CO₂ lebih kecil bila menggunakan konfigurasi dengan sumber daya utama PLTB. Hal ini dimungkinkan karena sumber daya backup nya pun tidak menggunakan bahan bakar fosil sama sekali.

Selanjutnya kita lakukan normalisasi dengan menggunakan persamaan (2) untuk dapat kita cari nilai indikator relatif e1 s/d e4 dari indikator elemen E1 sampai dengan E4 untuk setiap skenario.

Indikator relatif e1.

$$e_{1,1} = \frac{\max(E_{2,1}) - E_{1,1}}{\max(E_{1,1}) - \min(E_{1,1})}$$

$$= \frac{91,67 - 90}{91,67 - 0} = 0,018$$

$$e_{5,1} = \frac{\max(E_{2,1}) - E_{5,1}}{\max(E_{5,1}) - \min(E_{5,1})}$$

$$= \frac{91,67 - 0}{91,67 - 0} = 1$$

Dapat kita buatkan tabel indikator relatif e1 seperti dibawah :

Tabel 2. Indikator relatif e1

Konfigurasi	e1
PLN + Genset + FC + battery	0,018
PLTB + FC + Battery	1

Indikator relatif e2.

$$e_{1,2} = \frac{\max(E_{2,2}) - E_{1,2}}{\max(E_{1,2}) - \min(E_{1,2})}$$

$$= \frac{0,845 - 0,815}{0,845 - 0,304} = \frac{0,03}{0,541} = 0,056$$

$$e_{5,2} = \frac{\max(E_{2,2}) - E_{5,2}}{\max(E_{5,2}) - \min(E_{5,2})}$$

$$= \frac{0,845 - 0,416}{0,845 - 0,304} = \frac{0,429}{0,541} = 0,793$$

Dengan demikian didapat indikator relatif e2 sesuai tabel dibawah :

Tabel 3. Indikator relatif e2 semua konfigurasi

Konfigurasi	e2
PLN + Genset + FC + battery	0,056

PLTB + FC + Battery	0,793
---------------------	-------

Indikator relatif e3

$$e_{1,3} = \frac{\max(E_{1,3}) - E_{1,3}}{\max(E_{1,3}) - \min(E_{1,3})}$$

$$= \frac{209.919,24 - 52.761,65}{209.919,24 - 52.761,65} = \frac{157.157,59}{157.157,59} = 1$$

$$e_{5,3} = \frac{\max(E_{5,3}) - E_{5,3}}{\max(E_{5,3}) - \min(E_{5,3})}$$

$$= \frac{209.919,24 - 99.604,62}{209.919,24 - 52.761,65} = \frac{109.314,62}{157.157,59} = 0,702$$

Dengan demikian didapat indikator relatif e3 sesuai tabel dibawah :

Tabel 4. Indikator relatif e3 semua konfigurasi

Konfigurasi	e3
PLN + Genset + FC + battery	1
PLTB + FC + Battery	0,702

Indikator relatif e4

$$e_{1,4} = \frac{\max(E_{1,4}) - E_{1,4}}{\max(E_{1,4}) - \min(E_{1,4})}$$

$$= \frac{23.063,14 - 21.856,4}{23.063,14 - 7.560,00} = \frac{1.256,74}{15.503,14} = 0,081$$

$$e_{5,4} = \frac{\max(E_{5,4}) - E_{5,4}}{\max(E_{5,4}) - \min(E_{5,4})}$$

$$= \frac{23.063,14 - 7.560,00}{23.063,14 - 7.560,00} = 1$$

Dengan demikian didapat indikator relatif e5 sesuai tabel dibawah :

Tabel 5. Indikator relatif e4 semua konfigurasi

Konfigurasi	e4
PLN + Genset + FC + battery	0,081
PLTB + FC + Battery	1

Dengan demikian indikator relatif secara keseluruhan untuk kedua skenario dapat dilihat pada tabel dibawah :

Tabel 6. Indikator relatif e1-e4 semua konfigurasi

Konfigurasi	e 1	e 2	e 3	e4
PLN + Genset + FC + battery	0,018	0,056	1	0,081
PLTB + FC + Battery	1	0,793	0,702	1

Dengan menggunakan perhitungan, dengan asumsi bobot adalah sama karena tidak ada kecenderungan/prioritas terhadap indikator elemen tertentu, maka hasil ESI merupakan hasil rata-rata dari keempat indikator relatif e1 – e4 dan dapat dilihat pada tabel dibawah.

Tabel 7. Indikator relatif semua konfigurasi berikut Energy Security Index

Konfigurasi	Indikator Relatif				ESI
	e1	e2	e3	e4	
PLN + Genset + FC + Battery	0,018	0,056	1	0,081	0,289
PLTB + FC + Battery	1	0,793	0,702	1	0,874

 = tertinggi

SIMPULAN

1. Ketahanan energi suatu system kelistrikan pada BTS dengan lokasi di pulau terpencil, akan jauh lebih baik bila menggunakan sumber daya utama PLTB dengan *backup fuel cell* dan *Battery*.
2. Dengan mengganti PLN dan Genset dengan PLTB , ketahanan energi pada system BTS ini naik menjadi tiga kali lipat dari semula 0,284 menjadi 0,874.
3. Biaya listrik atau biaya pembangkitan yang besar ada pada konfigurasi dengan sumber daya utama PLN dengan backup genset .
4. Biaya listrik per hari, bila dilihat dari berdasarkan sumber daya utamanya, maka penggunaan sumber daya utama PLN masih lebih murah.
5. Perlu dipertimbangkan kedepannya, penggunaan renewable energy seperti PLTB untuk dipakai sebagai sumber daya utama di pulau terluar Indonesia yang belum ada PLN di samping dapat memperkuat kemandirian energi di pulau tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Analisis Ketahanan Energi Kantor marketing Podomoro Golf View (PGV) Terhadap Rencana Penerapan PLTMH Head Rendah Di Bendung Cikeas-Cimanggis, Moses Morisca Elim, ST. MT, 2019
- Materi kuliah Ketahanan Energi, Bapak Hakimul Batih, Ph.D, 2017
- Tinjauan Ketahanan Energi pada sumber listrik Hybrid di base transceiver station pulau Tongkeng, Kep. Seribu, Iskandar Zulkarnain ST. MT, 2019.
- Peran Pembangkit Listrik Tenaga bayu (PLTB) Terhadap Energy Security Pada Infrastruktur Telekomunikasi di Pulau Pari, Judo Ignatius Nempung, ST., 2020
- Assessment of Indonesia's Energy Security Based On National Energy Policy, Elin lindiasari, Institut Teknologi bandung, 2017.
- Strategy for Power Consumption Management at Base Transceiver station, Sabnket

K. Bhondge, D. B. Bhoyar, Swati Mohad, Dept. Of Electronics, Yeshwantrao Chavan College of Engineering, Nagpur, India.

Design and Operational Experience of Powering Base Transceiver Station in Indonesia by Using a Hybrid Power System, P. A. Dahono¹, M. F. Salam², F. M. Falah²,

G. Yudha², Y. Marketatmo³, and Budiwibowo³ 1) Institute of Technology Bandung, Bandung, Indonesia. 2) PT. LEN, Bandung, Indonesia. 3) PT. Indosat, Jakarta, Indonesia.

(<http://www.infohargabbm.com/2017/06/harga-keekonomian-bbm-solar-industri-pt.html>).

<http://www.satuenergi.com/2015/08/emisi-co2-dari-pembangkit-listrik-di.html>

<https://www.quora.com/how-many-trees-does-it-take-to-transform-one-ton-of-co2-into-oxygen-over-the-time-of-one-year-are-there-any-statistics-for-different-trees-leaf-trees-conifers-or-even-other-plants>

<https://support.huawei.com/enterprise/en/gsm-r/bts3900-gsm-pid-13797>

Shoto 6-FMX VRLA Battery Manual

Indonesia's Energy Transition:A Case for Action", AT Kearney dan Apindo. id.wikipedia.org/wiki/Pulau_Pari_Kepulauan_Seribu_Selatan_Kepulauan_Seribu <https://katadata.co.id/berita/2019/10/30/bisnis-internet-dan-data-seluler-naik-laba-bersih-telkom-tumbuh-156>.

<https://Bisnis.com, 20-10-2019, bangun 22.000 BTS, Telkomsel Lampaui Target Sebelum Tutup Tahun>

<http://www.windprospecting.com>