

## PERBANDINGAN HARGA ENERGI DARI SUMBER ENERGI BARU TERBARUKAN DAN FOSIL

Edwaren Liun, Sunardi

Pusat Kajian Sistem Energi Nuklir – BATAN  
Jl.Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta 12710  
Telp./Fax.: (021) 5204243, e-mail: edwaren@batan.go.id

Diterima	Deterima dalam bentuk revisi	Disetujui
11 Agustus 2014	10 Oktober 2014	24 Oktober 2014

### ABSTRAK

*PERBANDINGAN HARGA ENERGI DARI SUMBER ENERGI BARU, TERBARUKAN DAN FOSIL. Transportasi biaya rendah untuk orang dan barang sangat penting untuk kesejahteraan ekonomi bangsa. Hingga kini jika harga minyak naik, biaya transportasi otomatis akan mengikuti dan sebagian rakyat menderita akibat melambungnya harga makanan dan barang-barang lainnya. Hampir 100 persen kebutuhan energi transportasi negara Indonesia didukung oleh minyak. Sementara biaya di sektor energi terutama listrik, di negara maju yang juga berperan signifikan untuk mendukung transportasi, jauh lebih stabil dan dapat diprediksi. Kebutuhan energi yang begitu tinggi di sektor transportasi cenderung memaksa manusia untuk mengupayakan sumber dan sarana energi dalam bentuk lain seperti listrik atau hydrogen yang dapat menyamai atau melebihi kinerja bahan bakar minyak. Makalah ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan keekonomian harga energi dari sumber EBT dan fosil untuk melihat sejauh mana peluang keekonomian beberapa jenis energi dapat memainkan peran signifikan di sektor transportasi dan dampak selanjutnya di dalam sistem energi. Metodologi yang digunakan adalah penelusuran pustaka dan perhitungan langsung pada bahan atau sumber energi terkait. Dari hasil analisis diperoleh bahwa akan semakin dibutuhkan peran energi nuklir dan energi tertentu lainnya sebagai sumber energi listrik menimbang aspek keekonomiannya yang relatif lebih baik.*

**Kata kunci:** perbandingan, harga energi, bahan bakar, transportasi

### ABSTRACT

*ENERGY PRICE COMPARISON OF NEW, RENEWABLE, AND FOSSIL ENERGY SOURCES. Low cost transportation for people and goods is essential to the economic well-being of the nation. Until now, if the oil prices rise, the cost of transportation will automatically follow and most of the people suffering due to soaring prices of food and other items. Almost 100 percent of Indonesian transportation energy demand is supported by oil. Supply disruption - or even the threat of disruption - in the Middle East or elsewhere may lead to a shift in consumer prices and the cost of the industry in significant numbers. While costs in the energy sector, especially electricity in developed countries that also contribute significantly to support the transport sector, is much more stable and predictable. Energy requirements are so high in the transport sector tends to force people to seek the source and means of energy in other forms such as electricity or hydrogen that can match or exceed the performance of fuel oil. This paper aims to analyze the economics of energy price comparison to see the extent of the economic opportunities some kind of energy to play a significant role in the transport sector and the subsequent impact on the energy system. From the results obtained by the analysis that will be increasingly necessary role of nuclear energy and other specific energy as a source of electrical energy considering its economical aspects are relatively better.*

**Keywords:** comparison, price of energy, fuel, transportation

## **1. PENDAHULUAN**

Konsumsi energi primer dunia tumbuh sebesar 2,5% pada tahun 2011, kira-kira sejalan dengan pertumbuhan rata-rata selama 10 tahun terakhir. Pertumbuhan konsumsi global melambat pada tahun 2011 untuk semua bahan bakar, seperti halnya konsumsi energi total untuk semua wilayah dunia<sup>[1]</sup>.

Saat ini, minyak menyumbang 45% dari seluruh energi yang dihasilkan di seluruh dunia, dan merupakan bahan bakar yang memenuhi 96% kebutuhan sektor transportasi dunia. Minyak bumi juga merupakan bagian integral dari industri vital - petrokimia, seperti plastik, tekstil, pupuk, pelumas, aspal dan berbagai produk industri lainnya. Minyak juga perekat yang mengikat ekonomi global, yang menyebabkan saling berpengaruhnya ekonomi negara-negara di dunia. Pada tahun 2003 lebih dari 66% dari minyak diperdagangkan secara internasional. Pergeseran sedikit saja harga minyak akan dirasakan di seluruh dunia<sup>[2]</sup>.

Minyak bumi memainkan peran ekonomi dan politik global, dan merupakan salah satu unsur penting dalam kekuatan militer. Ketika Inggris mengirim pasukan ke Iran, negara-negara maju lainnya mengikuti berjuang untuk mendapatkan akses ke sumber daya yang berharga ini. Kekurangan minyak sangat berkontribusi pada kekalahan Jerman dan Jepang dalam Perang Dunia II. Kekuatan minyak telah terbukti dapat menghancurkan suatu negara, dan fungsinya akan terus menjadi pemain dalam urusan dunia di masa depan<sup>[2]</sup>. Begitu besarnya peran minyak bumi menggiatkan upaya substitusi minyak bumi. Berbagai sumber energi diusulkan oleh banyak pihak untuk digunakan dan berperan seperti minyak bumi termasuk sebagai pembangkit listrik. Upaya ini diajukan sebagai kontes keekonomian sumberdaya energi agar dapat mencairkan dampak jika biaya bahan bakar dari sumber tertentu meningkat. Sedangkan para utilitas diharapkan beralih ke sumber energi yang lain, yakni bahan bakar yang lebih murah untuk pembangkit listrik dan untuk menjaga pasokan dan biaya listrik tetap rendah. Umumnya negara maju menyediakan berbagai alternatif sumber energi seperti energi terbarukan dan nuklir yang mengurangi ketergantungan pada minyak bumi. Bahkan energi fosil lainnya - yang mana hal ini sangat dibutuhkan oleh setiap negara berpenduduk besar yang konsumsi energinya juga besar.

Makalah ini bertujuan untuk mengungkap dan menggambarkan biaya energi dari berbagai sumber energi baru, terbarukan dan energi fosil untuk dapat dibandingkan potensi penggunaannya di masa depan. Ruang lingkup adalah mencakup perbandingan energi baru, terbarukan, fosil dan nuklir. Untuk menopang keberlanjutan kesejahteraan bangsa, masalah energi ke depan tampaknya akan semakin memerlukan perubahan pola produksi dan konsumsi yang lebih intensif. Minyak bumi karena merupakan bahan bakar portable dan sangat praktis terutama untuk transportasi, laju penggunaannya sangat tinggi, dan terkuras lebih cepat<sup>[3]</sup>. Peralihan dari energi fosil ke EBT mengalami banyak kendala sebagai karena harga yang jauh lebih tinggi. Sebagai konsekuensi menyusutnya pasokan minyak bumi dan tingginya harga energi dari sumber EBT masyarakat akan menghadapi kesulitan menjalankan aktifitas ekonomi, yang selanjutnya kesejahteraan akan menurun.

## **2. HARGA ENERGI DAN KETERGANTUNGAN PADA MINYAK BUMI**

### **2.1. Pengaruh Harga Energi**

Guncangan harga energi berpengaruh pada investasi. Kenaikan harga energi tampaknya kuat pada produktifitas ril, inflasi, dan biaya menyebabkan resesi. Lonjakan harga minyak dalam beberapa tahun terakhir menyebabkan keresahan masyarakat secara luas. Guncangan harga energi sejauh ini menyebabkan efek resesi. Harga energi sangat menentukan kemakmuran relatif bagi penduduk.

Sektor transportasi merupakan salah satu sektor yang paling banyak bersentuhan dengan sektor lainnya untuk menentukan kapasitas akses masyarakat ke sumberdaya yang dibutuhkan. Transportasi biaya rendah untuk orang dan barang sangat penting untuk kesejahteraan masyarakat secara luas. Hingga kini bilamana harga minyak naik, biaya transportasi otomatis akan mengikuti dan sebagian rakyat menderita akibat melambungnya harga makanan dan barang lainnya. Hal ini jelas sebagai bentuk ketergantungan sistem ekonomi pada minyak bumi yang belum ada alternatif memadai sebagai substitusi pada semua sektor. Saat ini hampir 100 persen kebutuhan energi transportasi Indonesia didukung oleh minyak bumi. Gangguan pasokan dapat menyebabkan pergeseran harga konsumen dan biaya industri dalam angka yang signifikan di dalam negeri. Sementara, biaya di sektor energi, terutama listrik di negara maju, lebih stabil dan dapat diprediksi. Ke depan energi listrik merupakan salah satu andalan dalam menyediakan energi untuk transportasi. Negara maju pada umumnya menyediakan berbagai alternatif sumber energi seperti energi terbarukan dan nuklir yang mengurangi ketergantungan pada minyak bumi bahkan energi fosil lainnya - yang mana hal ini sangat dibutuhkan oleh negara-negara berpenduduk besar yang konsumsi energinya juga besar. Upaya penyediaan energi dari sumber energi baru sebenarnya sudah cukup lama dirintis oleh banyak negara di dunia sebagai upaya substitusi energi fosil.

Berbagai sumber untuk substitusi minyak bumi dan fosil lainnya telah diupayakan oleh berbagai negara di dunia, namun belum dapat menjalankan peran secara signifikan. Kenaikan harga minyak bumi masih tetap berpengaruh kuat kepada sektor lain, seperti sektor industri dan berbagai segmen pada sisi konsumen yang selanjutnya melemahkan nilai sumber daya lainnya. Kebutuhan energi untuk transportasi bersifat *portable*, ke depannya diharapkan dapat disuplai dengan sumber energi alternatif (energi baru dan terbarukan). Ke depan keadaan semakin berubah, cadangan minyak bumi semakin menipis dan teknologi energi dituntut dan perlu mengikuti keadaan. Upaya meningkatkan produksi energi baru dan terbarukan hingga kini berpengaruh pula pada sektor lainnya seperti pangan, konservasi lingkungan dan aspek sosial lainnya. Sedangkan upaya untuk menghemat penggunaan bahan bakar minyak (BBM) pada kendaraan dapat sedikit membantu dalam mengurangi penggunaan BBM. Teknologi kendaraan yang lebih efisien, termasuk mesin *hybrid* - listrik, diperkirakan akan memainkan peran penting dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar minyak. Namun pertumbuhan ekonomi dan permintaan energi di negara berkembang terus berlanjut yang mendorong pertumbuhan kebutuhan bahan bakar.

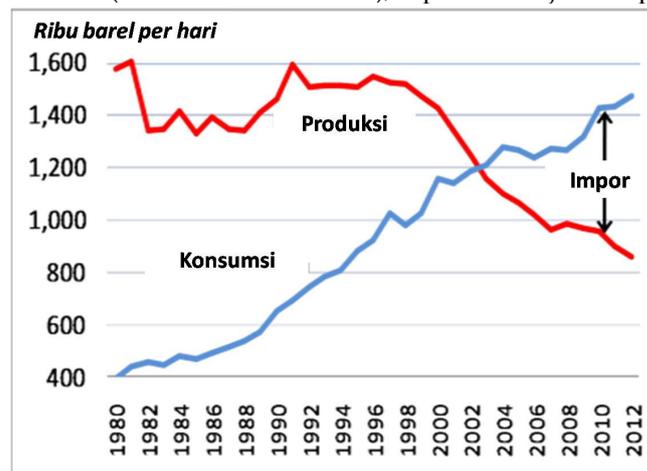
Mengenali keuntungan lingkungan dari memanfaatkan bentuk-bentuk energi alternatif dan terbarukan memang cukup mudah, namun juga harus disadari kelemahannya. Kelemahan energi terbarukan adalah bahwa sulit untuk menghasilkan listrik dalam jumlah yang besar seperti yang dihasilkan oleh pembangkit bahan bakar fosil, nuklir dan tenaga air. Hal ini juga menunjukkan bahwa solusi terbaik untuk masalah energi membutuhkan pasokan yang seimbang dari berbagai sumber daya yang berbeda.

Kelemahan lain dari sumber energi terbarukan adalah keandalan pasokan. Energi terbarukan banyak mengandalkan cuaca. Pembangkit tenaga air membutuhkan hujan untuk mengisi bendungan untuk memasok air yang mengalir. Turbin angin butuh angin untuk berputar, dan kolektor surya membutuhkan langit cerah dari sinar matahari untuk mengumpulkan panas dan menjalankan perannya. Jika cuaca tidak sesuai maka tidak ada energi yang diproduksi. Sumber energi ini tidak dapat diprediksi dan tidak konsisten. Biaya teknologi energi terbarukan ini sekarang juga jauh melebihi biaya pembangkit bahan bakar fosil. Hal ini terutama karena kerapatan energinya sangat rendah dibanding nuklir dan fosil.

## 2.2. Ketergantungan pada Minyak Bumi

Minyak menyumbang sekitar sepertiga dari seluruh energi yang digunakan di dunia. Setelah penurunan harga minyak yang terkait dengan Revolusi Iran di 1979-1980 dan dengan dimulainya perang Iran-Irak pada tahun 1980, ada penurunan total konsumsi minyak dunia. Dari sekitar 63 juta barel per hari pada 1980 turun menjadi 59 juta barel per hari pada tahun 1983. Sejak itu konsumsi dunia atas produk minyak bumi terus meningkat, yang berjumlah sekitar 84 juta barel per hari pada tahun 2005. Di Amerika Serikat, konsumsi produk minyak bumi meningkat rata-rata 1,65 persen per tahun antara 1983 - 2004, dan rata-rata 20,6 juta barel per hari pada tahun 2005, mewakili sekitar seperempat dari seluruh konsumsi dunia. *Energi Information Administration* Amerika Serikat (EIA) memproyeksikan konsumsi AS akan terus meningkat dan akan mencapai 27,6 juta barel per hari pada tahun 2030<sup>[4]</sup>.

Produksi minyak Indonesia dewasa ini tinggal sekitar separuh dari tingkat produksi puncak tahun 1980. Sementara itu konsumsi BBM naik terus dengan cepat. Pada tahun 1980 konsumsi BBM baru sekitar 400 ribu barrel per hari atau hanya seperempat dari tingkat produksi, sedangkan pada tahun 2012 konsumsi BBM naik hampir empat kali lipat dan telah mencapai 1,7 kali dari laju produksi. Dalam 10 tahun terakhir konsumsi minyak Indonesia meningkat sekitar dua kali lipat dari sekitar 800 ribu barel/hari menjadi sekitar 1,6 juta barel/hari pada tahun 2014 (berdasar tren statistik), seperti ditunjukkan pada Gambar 1<sup>[5,6]</sup>.



Gambar 1. Data Historis Produksi dan Konsumsi Minyak Nasional<sup>[5]</sup>.

## 2.3. Pengendalian Harga Energi

Upaya untuk menstabilkan harga energi sangat penting. Upaya untuk itu hanya akan terwujud dengan memperluas alternatif di level konsumen. Energi untuk transportasi yang selama ini sangat terbatas - bertumpu hanya pada minyak bumi - merupakan sisi paling kritis. Sumber energi alternatif untuk sektor transportasi perlu diperluas sehingga dapat menggunakan sumber energi lain seperti gas batubara, nuklir, dan lainnya. Kebijakan memperluas energi alternatif membutuhkan pengembangan teknologi untuk menciptakan pasar bahan bakar alternatif, meskipun banyak tantangan dalam tahap awal pengembangan. Salah satu kunci untuk memperluas energi alternatif adalah memproduksi dan memperkenalkan kendaraan yang digerakkan oleh sumber tenaga selain bahabakar minyak bumi, misalnya tenaga *fuel cell* atau baterai secara intensif, sehingga sumber energi manapun yang dikonversi menjadi energi listrik dapat digunakan oleh kendaraan bermotor bertenaga listrik. Dengan memperluas alternatif di level konsumen, maka lonjakan harga dan ketergantungan pada salah satu bahan bakar dapat dikurangi, yang berimplikasi bahwa harga energi tetap terjangkau oleh konsumen.

Pengembangan kendaraan bertenaga baterai membutuhkan peningkatan kapasitas dan jangkauan jaringan listrik, sehingga berbagai pilihan sebagai sumber energi, terutama yang ekonomis - untuk pembangkit listrik perlu dimanfaatkan. Masalah yang disebabkan oleh kurangnya keragaman bahan bakar transportasi telah diakui selama beberapa dekade. Namun demikian kebijakan baru di berbagai negara industri tetap akan mendorong kenaikan harga minyak yang akan membawa masalah lain pada sistem energi.

Sebagai langkah alternatif, di antara industri otomotif di dunia telah berinovasi untuk menciptakan kendaraan yang melaju di jalan raya dengan tenaga yang dihasilkan oleh selain bahan bakar minyak. Kendaraan tersebut selain yang sudah lazim - kendaraan transportasi massal berupa kereta, trem dan bus listrik - juga telah muncul mobil pribadi berbahan bakar gas hidrogen yang menggunakan *fuel cell* sebagai mesin konversinya. Dan lebih maju adalah mobil listrik yang menggunakan baterai berkapasitas besar yang dapat menempuh jarak ratusan kilometer dengan menawarkan kemudahan dalam waktu pengisian baterai yang singkat, atau lebih kurang sama seperti mengisi tangki kendaraan berbahan bakar minyak. Hal ini berarti bahwa kendaraan bertenaga baterai membutuhkan daya pengisian yang besar pada stasiun pengisian baterai umum. Sebagai konsekuensinya, beban permintaan bahan bakar untuk transportasi beralih menjadi beban sistem kelistrikan yang terintegrasi.

Untuk menggerakkan Transportasi Masa Depan (TMD) pembuat kebijakan perlu mengeksplorasi banyak pilihan yang tersedia. Tujuannya tidak hanya menangani keamanan energi dan pembangunan ekonomi, tetapi juga bergerak ke arah pengembangan pasokan bahan bakar yang lebih beragam sehingga sistem pasokan energi lebih andal.

#### **2.4. Penyimpanan Energi**

Kebutuhan akan sistem penyimpanan energi yang potensial berskala besar juga menjadi isu penting bagi daya saing harga energi. Energi yang dapat disimpan mengandung nilai ekonomi yang lebih tinggi pada level produsen maupun konsumen. Pada dekade terakhir ini kebutuhan terhadap teknologi penyimpanan energi telah berkembang seiring perkembangan beragam opsi sumber energi yang tidak mudah untuk diterapkan di banyak tempat yang membutuhkan. Kemampuan menyimpan energi adalah salah satu potensi yang memungkinkan bahwa energi dapat digunakan pada saat dibutuhkan di luar masa produksinya. Jawaban yang sederhana adalah membangun sebuah sistem tambahan yang akan menyimpan energi ketika matahari bersinar sebagai sumber energi gratis atau suatu jenis energi lainnya tersedia dengan mudah. Namun, masalahnya adalah bahwa sistem penyimpanan tersebut tidak tersedia saat ini<sup>[6]</sup>. Hampir semua kapasitas penyimpanan saat ini berada dalam bentuk pompa penyimpanan tenaga air (*pump hydro storage*, PHS). Sistem penyimpanan ini bekerja dengan memompa air dari waduk bawah ke waduk atas, kemudian melepaskan air yang disimpan melalui generator listrik tenaga air (PLTA) ketika listrik diperlukan.

Penyimpanan energi dalam skala terbatas atau kecil dikembangkan melalui sistem akumulator elektrolit, berupa energi kimia di dalam baterai. Meskipun sistem baterai ini belum lazim sebagai energi portabel namun sistem ini tampak cukup potensial di masa depan dimana energi portable dalam bentuk bahan bakar semakin langka. Perkembangan ini merupakan hasil dari faktor kombinasi. Antara lain kemajuan teknologi, kenaikan harga minyak dan gas alam yang dramatis untuk memenuhi kebutuhan beban puncak listrik, dan sekaligus adanya kekhawatiran tentang keamanan pasokan energi.

Selama ini para utilitas diharapkan untuk mengirim energi secara *online* dengan banyak pembangkit listrik tenaga batubara dan tenaga nuklir untuk memenuhi permintaan beban dasar yang stabil, sedangkan pembangkit lainnya dengan pilihan terbatas

menyediakan kapasitas pembangkit untuk memenuhi beban harian yang bervariasi setiap jam (*load following*), dan permintaan beban puncak. Pada sumber energi berbasis fosil produksi dan penyimpanan sumberdaya dapat diatur dengan mudah, sementara ketersediaan energi baru tergantung pada cuaca dan tidak mudah dalam masalah penyimpanan.

### 3. METODOLOGI

Beberapa sumber energi alternatif yang dianggap potensial saat ini antara lain adalah energi baru dan terbarukan (EBT). Sejauh mana potensi sumber energi ini dapat diandalkan dalam hal ini diukur dan dianalisis menurut keekonomian. Untuk itu metodologi yang diterapkan adalah analisis terhadap masing-masing sumber energi. Analisis dilakukan melalui beberapa cara, yakni perbandingan langsung atas informasi/data aktual yang telah tersedia yang dianggap otentik. Sedangkan informasi yang tidak menyediakan nilai akhir memerlukan analisis secara kuantitatif, yaitu perhitungan yang dilakukan dengan menerapkan persamaan konversi hingga didapatkan angka dalam satuan \$ per kWh. Satuan energi kWh dipilih karena merupakan hasil konversi paling akhir dalam proses penyediaan energi pada konsumen. Perhitungan masing-masing energy adalah sebagai berikut:

#### 1. Energi Surya

Energi surya dapat diperoleh secara gratis, karena matahari dapat menyinari sebagian besar permukaan bumi. Namun untuk mengkonversi energi surya dibutuhkan peralatan yang harganya cukup mahal, sehingga biaya yang dibutuhkan cukup tinggi untuk per satuan energi listrik yang diproduksi. Biaya surya didasarkan pada persamaan berikut:

$$\text{Energi diproduksi [kWh]} = \frac{\text{Daya [kW]} \times \text{Operasi efektif [jam]}}{\text{hari}} \times \frac{365 \text{ hari}}{\text{tahun}} \times \text{Umur [tahun]}$$
$$\text{Biaya energi per kWh} = \frac{\text{Biaya total}}{\text{Energi yang dihasilkan [kWh]}}$$

#### 2. Energi Angin

Energi angin juga diperoleh gratis, namun untuk mengkonversi dibutuhkan instalasi yang membutuhkan biaya cukup mahal per satuan energi listrik yang diproduksi. Biaya energi angin didasarkan pada persamaan:

$$\text{Biaya per satuan energi} = \frac{\text{Biaya total}}{\text{Jumlah energi yang dihasilkan}}$$

#### 3. Energi Batubara

Energi listrik dari batubara dibangkitkan melalui proses produksi uap dengan pembakaran batubara. Pembangkit listrik berbahan bakar batubara (PLTU batubara) dapat membangkitkan listrik dalam skala besar. Biaya produksi listrik tergantung pada biaya investasi pembangkit dan harga bahan bakarnya. Dalam kajian ini biaya produksi listrik didasarkan pada data/informasi dari berbagai sumber.

#### 4. Energi Gas

Dasar analisis dalam perhitungan biaya energi gas juga didasarkan pada biaya produksi listrik yang dibangkitkan dengan tenaga gas bumi. Sama seperti halnya pada pembangkit listrik batubara, pada pembangkit listrik tenaga gas (PLT-gas), biaya produksi listrik tergantung pada biaya investasi pembangkitan dan harga bahan bakar gas. Namun pada PLT-gas umumnya biaya investasi lebih rendah, dan biaya bahan bakar lebih tinggi.

## 5. Energi Nuklir

Pembangkit listrik tenaga nuklir bekerja dengan banyak kesamaan seperti seperti pembangkit berbahan bakar fosil, kecuali bahwa didalam reaktor nuklir berlangsung "reaksi berantai" yang memproduksi panas sebagai gantinya. Reaktor menggunakan batang uranium sebagai bahan bakar, dan panas dihasilkan oleh fisi nuklir.

Sebagian besar biaya pembangkitan listrik dengan tenaga nuklir (PLTN) berasal dari investasi pembangunan instalasi yang tergolong mahal. Sedangkan biaya bahan bakar tergolong murah. Di samping itu juga ada biaya operasi dan perawatan. Analisis untuk biaya produksi listrik dari PLTN berdasarkan data dan informasi berbagai sumber.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Perhitungan Harga Energi

Masing-masing jenis sumber energi mempunyai karakteristik yang spesifik sebagai parameter dalam perhitungan. Sumber energi yang sifatnya berbentuk bahan mengandung unsur kimia yang menentukan kandungannya per satuan massa. Sedangkan yang bersifat bentuk energi (panas, cahaya, atau mekanik) seperti energi surya, angin, potensi air, gelombang dan lainnya terkandung di dalam dimensi ruang - umumnya terhitung dalam ruang dua dimensi (per satuan luas) atau satu dimensi, seperti garis pantai energi gelombang laut. Kecenderungan yang tampak hingga saat ini adalah perbandingan harga energi dari minyak bumi terhadap energi listrik semakin tinggi. Saat ini harga energi listrik sekitar Rp.1000 per kWh. Harga ini jelas lebih murah dibanding energi yang berasal dari minyak bumi, di mana satu liter minyak diesel seharga Rp.9000 dapat menghasilkan 3 kWh atau sama dengan Rp.3000 per kWh.

Dalam hal penyimpanan energi, berbagai industri otomotif di dunia berinovasi untuk menciptakan kendaraan yang melaju di jalan raya dengan tenaga yang dihasilkan oleh selain bahan bakar minyak. Kendaraan tersebut selain yang sudah lazim - kendaraan transportasi massal berupa kereta, trem dan bus listrik, juga telah muncul mobil pribadi berbahan bakar gas. Lebih maju lagi adalah telah diciptakannya mobil listrik yang menggunakan baterai berkapasitas besar hingga dapat menempuh jarak ratusan kilometer dengan kemudahan waktu pengisian yang tidak kalah dengan tangki kendaraan berbahan bakar minyak. Ini artinya baterai membutuhkan daya pengisian yang besar pada stasiun pengisian baterai umum. Sebagai konsekuensi pengembangan sistem kendaraan listrik akan membutuhkan peningkatan daya pada sistem jaringan listrik interkoneksi.

### 1. Energi Surya

Biaya sistem dengan panel photovoltaic rata-rata = 1022,2 \$/m<sup>2</sup>. Keluaran panel surya rata-rata = 114,04 watt/m<sup>2</sup>, sehingga biaya rata-rata sistem energi surya = 8,96 \$/watt<sup>[7]</sup>. Maka untuk sebuah sistem berkapasitas 5 kW, dibutuhkan luas panel per sistem:

$$\frac{114,04 \text{ watt}}{\text{m}^2} \times \frac{1 \text{ sistem}}{5 \text{ kW}} = \frac{0,02281 \text{ sistem}}{\text{m}^2} = 43,84 \text{ m}^2/\text{sistem}$$

Untuk membandingkan biaya energi surya dengan bahan bakar hidrokarbon konvensional, 8,96 \$/watt dikonversi menjadi kWh total yang dihasilkan sistem. Misalkan digunakan suatu sistem berkapasitas 5 kW. Konversi DC menghasilkan listrik AC dengan kehilangan energi sebesar 10 persen untuk sistem energi surya, jadi: 5 KW dikali 90% = 4,5 KW.

Perhitungan selanjutnya adalah memproyeksikan produksi listrik total dengan mengalikan jumlah jam sibuk rata-rata sinar matahari (sekitar 3,63 jam per hari) dikalikan

365 hari/tahun dikali 20 tahun (umur produk) yang memberikan keluaran energinya sebesar:

$$\text{Energi [kWh]} = \frac{\text{Operasi efektif [jam]}}{\text{hari}} \times \frac{365 \text{ hari}}{\text{tahun}} \times \text{Umur ekonomi [tahun]}$$

$$4,5 \text{ kW} \times \frac{3,63 \text{ jam}}{\text{hari}} \times \frac{365 \text{ hari}}{\text{tahun}} \times 20 \text{ tahun} = 119.245,5 \text{ kWh}$$

Biaya untuk sistem energi surya 5 kW tersebut adalah sebagai berikut:

$$\frac{1022,2 \$}{\text{m}^2} \times \frac{43,8 \text{ m}^2}{\text{sistem}} = 45.000 \$/\text{sistem}$$

Selanjutnya dihitung harga per satuan [\$/kWh], yaitu harga 45.000 \$/sistem yang bekerja selama 20 tahun dikonversi menjadi \$/kWh sebagai berikut:

$$\text{Harga per satuan [$/kWh]} = \frac{\text{Total biaya [\$]}}{\text{Total energi yang dihasilkan [kWh]}} = \frac{45.000 \$}{119.245,5 \text{ kWh}}$$

$$= 0,3773 \frac{\$}{\text{kWh}} = 37,73 \text{ sen}/\text{kWh}$$

## 2. Energi Angin

Untuk energi angin estimasi EIA meliputi<sup>[7]</sup>: (a) jumlah biaya modal semalam (*overnight capital cost*) termasuk kontingensi untuk energi angin \$1,003 per kW; (b) biaya variabel O&M \$0; (c) biaya tetap O&M \$26,10 per kW. Semua dalam dolar 2001. Perkiraan EIA biaya interkoneksi energi angin tidak spesifik, tapi bervariasi menurut wilayah, berkisar dari \$175 sampai \$457 per kW (dolar 2001). EIA memperkirakan bahwa perlu adanya penambahan kapasitas transmisi untuk melayani ladang angin yang meliputi data untuk situasi yang membutuhkan transmisi pada kisar jarak 0 – 5 mil (sebesar \$8,74 sampai \$15,23 per kW, tergantung wilayah), pada kisar jarak 5 – 10 mil (\$26,23 sampai \$45,70 per kW), pada kisar jarak 10 – 20 mil (\$52,47 sampai \$91,40 per kW).

Biaya modal energi angin bervariasi menurut kapasitas terpasang dan lokasi penempatannya. Secara sederhana biaya modal energi angin berkapasitas 10 kW berkisar 2000 sampai dengan 4000 \$/kW. Untuk daerah kontinuitas anginnya yang baik akan dihasilkan kuantitas energi relatif yang cukup besar per satuan kapasitas terpasang. Dengan lingkungan angin yang memadai, kapasitas 10 kW akan menghasilkan energi sebesar 10 – 18 ribu kWh per tahun. Dengan mengambil nilai pertengahan dari angka tersebut diperoleh 14.000 kWh. juga dengan rentang usia ekonomis 20 tahun akan dihasilkan energi 280.000 kWh atau sekitar 252.000 kWh, setelah dikonversi menjadi listrik AC pada efisiensi 90%. Dengan demikian biaya produksi dihitung menjadi:

$$B = \frac{\text{biaya total}}{\text{jumlah energi yang dihasilkan}} = \frac{30.000 \$}{252.000 \text{ kWh}} = 12 \text{ sen}/\text{kWh}$$

Nilai tersebut adalah rata-rata dari nilai yang bervariasi antara 10 - 15 sen\$/kWh yang dirilis oleh Departemen Energi Amerika Sedkat.<sup>[8][9]</sup> Salah satu masalah pada energi angin adalah faktor kapasitas yang rendah seperti tercantum pada Tabel 1<sup>[10]</sup>.

Faktor kapasitas (CF) dari tenaga angin adalah perbandingan daya rata-rata terhadap daya maksimum teoritis. Ini dapat dihitung untuk satu turbin, sebuah kawasan ladang angin yang terdiri dari puluhan turbin, atau seluruh negara yang terdiri dari ratusan kawasan ladang angin. Di Eropa rata-rata selama lima tahun terakhir kurang dari 21%, jauh lebih rendah dibandingkan klaim yang dibuat oleh Lobi Tenaga Angin Eropa sebesar 24%

untuk “tahun angin normal” pada level pengembangan saat ini. Realisasi faktor kapasitas beresilasi sepanjang waktu dan di seluruh daerah pada kisar 20-80%.

**Tabel 1. Data Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Negara-Negara Eropa dan AS**

Wilayah	EU15	DE	ES	DK	IT	UK	FR	PT	NL
Kapasitas (GW)	56,3	22,2	14,1	3,1	2,7	2,5	2,4	2,2	1,7
Energi (TWh)	97,7	33,7	28,8	6,1	4,2	5,3	4,2	3,8	3,5
Faktor Kapasitas (%)	20,8	17,5	24,8	22,8	19,1	26,1	22,3	22,7	21,5

Wilayah	AT	GR	IR	SE	BE	PO	CA	US
Kapasitas (GW)	1,0	0,9	0,8	0,7	0,3	0,3	2,4	16,6
Energi (TWh)	2,0	1,9	1,9	1,2	0,5	0,5	4,4	32,1
Faktor Kapasitas (%)	20,1	29,3	29,3	21,7	20,0	25,9	22,3	25,5

Biaya instalasi ladang angin keseluruhan menurut laporan IEA diperkirakan antara 1,9 - 2 juta \$/MW. Biaya pemeliharaan tahunan dilaporkan antara 0,020 - 0,026 \$/kWh, dengan biaya rata-rata 0,025 \$/kWh. Biaya produksi listrik dari energi angin bervariasi luas, tergantung situs dengan kondisi angin. Nilai ini berkisar antara 85 \$/MWh sampai 250 \$/MWh, pada *discount rate* 6,0% masa operasi 20 tahun. Nilai ini juga tergantung pada kapasitas unit yang semakin kecil semakin mahal dan faktor kapasitas<sup>[11]</sup>.

### 3. Energi Batubara

Hingga saat ini di seluruh dunia energi batubara paling diandalkan sebagai pembangkit tenaga listrik. Selain harganya murah energi ini memberi kemudahan untuk dibangun di berbagai tempat yang tersedia cukup air pendingin. Dengan harga patokan *Free on Board* (FOB) bahan bakar batubara dengan nilai kalor 6400 kcal/kg sebesar 81,9 \$/ton<sup>[12]</sup>, bahan bakar ini memberikan biaya bahan bakar listrik sekitar 3,3 sen\$/kWh. Namun ini belum termasuk biaya modal pembangkit dan biaya perawatan selama umur ekonomi 30 tahun. Informasi yang umum untuk pembangkit batubara berkisar antara 5 - 9 sen\$/kWh, yang tergantung pada harga batubara sampai di lokasi. Jika mengambil harga tengah antara angka tersebut maka nilainya adalah 7 sen\$/kWh.

Sebagian besar pembangkit listrik berbahan bakar batu bara memiliki biaya konstruksi semalam (*overnight cost*) berkisar antara 1000 dan 1500 \$/kWe. Waktu konstruksi sekitar empat tahun pada sebagian besar pembangkit. Harga bahan bakar (batubara, batubara coklat atau lignit) diasumsikan oleh responden selama masa ekonomi pembangkit bervariasi dari satu negara ke lain negara<sup>[13]</sup>. Pada *discount rate* 5%, biaya teras pembangkitan berkisar antara 25 dan 50 \$/MWh untuk sebagian besar pembangkit listrik tenaga batubara. Secara umum, biaya investasi sedikit lebih dari sepertiga dari biaya total pembangkitan, sementara biaya O&M dihitung sekitar 20% dan bahan bakar sekitar 45%.

Pada *discount rate* 10%, biaya teras pada hampir semua pembangkit listrik tenaga batu bara berkisar antara 35 dan 60 \$/MWh. Biaya investasi sekitar 50% dalam banyak kasus. Kontribusi biaya O&M sekitar 15% dari total, dan biaya bahan bakar sekitar 35%.

### 4. Energi Gas

Untuk pembangkit listrik berbahan bakar gas biaya *overnight* untuk konstruksi pada kebanyakan kasus berkisar antara 400 dan 800 \$/kWe<sup>[14]</sup>. Di semua negara, biaya investasi pembangkit listrik berbahan bakar gas lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga batubara dan tenaga nuklir. Pembangkit listrik berbahan bakar gas dapat dibangun

lebih cepat berkisar sekitar tiga tahun. Biaya O&M pembangkit listrik berbahan bakar gas secara signifikan lebih rendah dibandingkan dengan pembangkit batu bara atau tenaga nuklir. Sebagian besar harga gas diasumsikan pada tahun 2010 berkisar antara 3,5 dan 4,5 \$/GJ, atau antara 1,26 dan 1,62 sen\$/kWh.

Pada *discount rate* 5%, biaya teras (*levelized cost*) menghasilkan listrik dari pembangkit berbahan bakar gas bervariasi antara 37 sampai 60 \$/MWh. Tetapi dalam banyak kasus lebih rendah dari 55 \$/MWh. Biaya investasi mewakili kurang dari 15% dari biaya teras total, sedangkan kontribusi biaya O&M kurang dari 10% dalam banyak kasus. Biaya bahan bakar rata-rata hampir 80% dari total biaya teras, bahkan dalam beberapa kasus sampai 90%. Harga gas saat ini berada pada tingkat yang relatif tinggi. IEA mengasumsikan harga gas dalam *World Energi Outlook 2004* (IEA, 2004) sangat berbeda.

Pada *discount rate* 10%, biaya teras pembangkit berbahan bakar gas berkisar antara 40 dan 63 \$/MWh. Harga tersebut hampir sama dengan *discount rate* 5% karena biaya investasi sesaat (*overnight*) rendah dan periode konstruksi yang singkat. Biaya bahan bakar tetap menjadi kontributor utama dengan porsi 73% dari total biaya pembangkitan teras, sementara biaya investasi dan O&M adalah masing-masing sekitar 20% dan 7%.

### 5. Energi Nuklir<sup>[14]</sup>

Untuk pembangkit listrik tenaga nuklir dalam penelitian ini, biaya *overnight* konstruksi bervariasi antara 1600 dan 5900 \$/kWe dengan nilai rata-rata dari 4100 \$/kWe. Dalam studi tersebut dianggap menggunakan teknologi Generasi III yang berbeda yang meliputi EPR, reaktor air tekan maju serta desain reaktor air dididh maju lainnya.

Pada *discount rate* 5%, biaya teras pembangkitan PLTN di negara-negara OECD berkisar antara 29 \$/MWh (Korea) dan 82 \$/MWh (Hungaria). Biaya investasi merupakan bagian terbesar dari total biaya teras, rata-rata sekitar 60%, sedangkan biaya O&M yang mewakili sekitar 24% dan siklus biaya bahan bakar sekitar 16%. Angka-angka ini termasuk biaya untuk perbaikan, pengolahan limbah dan dekomisioning dengan masa operasi 60 tahun.

Pada *discount rate* 10%, biaya teras pembangkit listrik nuklir di negara-negara OECD berada pada kisar 42 \$/MWh (Korea) dan 737 \$/MWh (Swiss). Pangsa biaya teras investasi total pembangkitan sekitar 75% sedangkan elemen biaya lainnya, biaya O&M dan biaya siklus bahan bakar masing-masing 15% dan 9%. Angka-angka ini meliputi biaya pemeliharaan, pengolahan limbah dan dekomisioning dengan masa operasi 60 tahun. Semua nilai diatas adalah nilai yang berlaku untuk tahun 2013.

### 6. Energi dari Bahan bakar Nabati (*Biofuel*)

Biaya produksi rata-rata biodiesel Indonesia sekitar 875 \$/ton<sup>[15]</sup>. Dengan harga ini maka biaya bahan bakar untuk energi listrik yang diproduksi adalah 22,2 sen\$/kWh. Sedangkan harga biodiesel Eropa berkisar pada 0,83 EUR/liter, atau 32,2 sen\$/kWh listrik yang diproduksi. Harga ini belum termasuk biaya modal untuk mesin pembangkit. Harga bahan bakar etanol di Benua Eropa adalah pada kisar 0,62 EUR/liter<sup>[16]</sup>. Dengan nilai kalor berkisar pada 19,8 MJ/liter dari bahan bakar ini, hasil konversi memberikan nilai sebesar 0,185 \$/kWh dalam bentuk energi panas atau 55,7 sen\$/kWh jika dikonversi hingga menjadi energi listrik.

## 5. KESIMPULAN

Upaya substitusi minyak bumi semakin dibutuhkan. Berbagai usulan dalam upaya mendapatkan energi dengan biaya rendah atau terjangkau diajukan sebagai kontes keekonomian sumberdaya untuk mendapatkan solusi jika biaya bahan bakar dari sumber

tertentu meningkat. Dari segi kompetisi harga energi listrik cenderung memiliki daya saing semakin tinggi dibanding energi dari minyak bumi, karena energi listrik memungkinkan untuk diperoleh dari berbagai sumber lain yang potensial.

Biaya pembangkitan listrik dari beberapa jenis energi meliputi energi baru dan terbarukan menunjukkan superioritas sumber energi konvensional berupa bahan bakar fosil (batubara) dan nuklir sebagai sumber energi yang potensial untuk pembangkit listrik. Nilai keekonomian kedua bahan bakar tersebut merupakan penilaian agregasi dari keseluruhan komponen biaya. Namun demikian pengembangan beberapa jenis sumber energi menunjukkan prospek yang potensial di masa depan berdasarkan pertimbangan kemajuan teknologi yang efisien.

Biaya produksi listrik dengan energi angin sangat bervariasi yang tergantung pada faktor kapasitas dan ukuran unit dan negara lapangan angin, yaitu berkisar antara 85 – 250 \$/MWh. Sedangkan biaya produksi dengan kondisi angin yang baik sekitar 12 sen\$/kWh. Nilai ini bervariasi, tergantung pada faktor kapasitas dan negara tempat berada pembangkit. Biaya energi surya berkisar sekitar 37,73 sen\$/kWh, Biaya produksi dari energi batubara dan nuklir masing-masing berkisar antara 5 - 9 sen\$/kWh dan 2,9 - 8,2 sen\$/kWh. Nilai ini berada pada batas-batas normal yang umum di berbagai negara, yang mana Korea Selatan menghasilkan biaya terendah dan Eropa Barat biaya tertinggi.

Harga energi dari bahan bakar nabati masih tinggi, yaitu 22,2 sen\$/kWh di Indonesia dan 32,2 sen\$/kWh di Eropa untuk listrik yang diproduksi. Total biaya termasuk instalasi masing-masing berkisar 30,4 dan 44,1 sen\$/kWh. Sedangkan biaya bahan bakar etanol di Benua Eropa adalah pada kisar 0,185 \$/kWh dalam bentuk energi panas atau 55,7 sen\$/kWh energi listrik. Meliputi instalasi berkisar sekitar 76,3 sen\$/kWh karena ditambah biaya investasi mesin konversi untuk menghasilkan energi listrik yang berkisar sekitar 27% dari biaya produksi total.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- [1]. "\_\_\_\_\_", "BP Statistical Review of World Energy", June 2012, tersedia di [bp.com/statisticalreview](http://bp.com/statisticalreview), 21 Desember 2012, 2:40 AM.
- [2]. "\_\_\_\_\_", "Peak Oil Overview", The Arlington Institute, diakses 20 September 2011
- [3]. WILLIAM T. POUND, "Transportation Energy for the Future", a Guide for Policymakers, 7700 East First Place, Denver, Colorado 80203, (303) 364-7700, 444 North Capitol Street, NW, suite 515, Washington, D.C. 20001, (202) 624-s400, [www.ncsl.org](http://www.ncsl.org), March 2012.
- [4]. "\_\_\_\_\_", Crude Oil, "Uncertainty about Future Oil Supply Makes It Important to Develop a Strategy for Addressing a Peak and Decline in Oil Production", Report to Congressional Requesters, United States Government Accountability Office (GAO), February 2007.
- [5]. "\_\_\_\_\_", "Peak Oil and Oil Subsidy in Indonesia", tersedia di: <http://crudeoilpeak.info/peak-oil-and-fuel-subsidies-in-indonesia> diunduh tanggal 14 May 2013.
- [6]. S.M. GANECHARI and SANDEEP KATE, "Alternative Energy Sources", Proceeding of Two Days National seminar on Alternative Energy Sources, August 27-28, 2005, v.p.M.S., Polytechnic, Thane 'Jnanadweepa', Thane College Campus, Chendani Bunder Road, Thane - 400 601, MS, India.
- [7]. "\_\_\_\_\_", "Understanding the Cost of Solar Energy", [http://greenecon.net/understanding-the-cost-of-solar-energy/energy\\_econometri](http://greenecon.net/understanding-the-cost-of-solar-energy/energy_econometri), 10 April 2011, 13:59 PM

- [8]. "\_\_\_\_\_", "Alternative Energy Cost Comparisons", US DOE Website, tersedia di <http://www.eia.gov/oiaf/aeo/assumption/pdf/renewable.pdf>.
- [9]. GLENN R. SCHLEEDE, "The True Cost of Electricity from Wind Power and Windmill "Availability" Factors", tersedia di <http://www.mnfor.sustain.no-relwindpower-schleede-costsof-electricity.html> <http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/assumption/odf/renewable.pdf> . 16 Maret 2014.
- [10]. NICOLAS BOCCARD, "Capacity Factor of Wind Power – Realized Values vs. Estimates", October 2008, Electronic copy available at: <http://ssrn.com/abstract=1285435>, 20 Maret 2014.
- [11]. "\_\_\_\_\_", IEA Wind, 2012 Annual Report, "Executive Committee of the Implementing Agreement for Co-operation in the Research, Development and Deployment of Wind Energy Systems of the International Energy Agency", July 2013, ISBN 0-9786383-7-9.
- [12]. "\_\_\_\_\_", Harga Batubara Acuan (HBA) & Harga Patokan Batubara (HPB) Bulan Januari 2014, <http://www.minerba.esdm.go.id/library/content/file/28935-HBA%20Januari%202014/5404f9c79f37e18e0cca1fa2468f10c82014-01-07-10-06-23.pdf>
- [13]. "\_\_\_\_\_", "Executive Summary of IEA/NEA Secretariat", tersedia di: <http://www.iea.org/textbase/npsu/m/ElecCostSUM.pdf>, 18 Maret 2014. Web: [www.iea.org/textbase/npsu/m/ElecCostSUM.pdf](http://www.iea.org/textbase/npsu/m/ElecCostSUM.pdf) (Diunduh: 4 Januari 2014).
- [14]. "\_\_\_\_\_", [elec2010sum](http://www.iea.org/textbase/npsu/m/elec2010sum.pdf), tersedia di <http://www.iea.org/textbase/npsu/m/elec2010sum.pdf>, 21 Maret 2014.
- [15]. AGUSTINUS BEO DA COSTA, "Pengusaha Minta Kenaikan Harga Biodiesel" – Kontan Online, <http://industri.kontan.co.id/news/pengusaha-minta-kenaikan-harga-biodiesel>. diunduh , 12 September 2013 I 07:29 WIB
- [16]. CHRIS CHARLES, IVETTA GERASIMCHUK, RICHARD BRIDLE, TOM MOERENHOUT, ELISA ASMELASH, TARA LAAN, Research Report, "Biofuels - At What Cost? a Review of Costs and Benefits of EU Biofuel Policies" The International Institute for Sustainable Development, April 2013.