

K139 - PEMILIHAN TEKNOLOGI TURBIN DAN GENERATOR PADA SISTEM PLTGL-OWC DENGAN METODE *BENEFIT-COST ANALYSIS* DI PANTAI BARON, GUNUNGKIDUL, D.I. YOGYAKARTA

Cahaya A. Nugraha¹, Budi Hartono², Deendarlianto²

¹Magister Teknik Sistem, Universitas Gadjah Mada

Jl. Teknik Utara, No.3, Berek, Kec. Depok, Sleman, D.I. Yogyakarta 55281 Telp 0274 550404

²Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No. 2, Sleman, D.I. Yogyakarta 55281, Indonesia Telp 0274 521673

Email: cahya.sragen@gmail.com

Abstrak

Dengan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut model *Oscillating Water Column* (PLTGL-OWC) potensi energi listrik gelombang laut di Pantai Selatan dapat dimanfaatkan. Energi listrik yang dapat dimanfaatkan sebesar 1425 kW dengan panjang gelombang 95 m. Jika tiap penduduk membutuhkan 0,91 kWh maka potensi energi tersebut dapat menyediakan tenaga listrik untuk 1566 penduduk di sekitar lokasi PLTGL-OWC. Sistem OWC memiliki teknologi pengkonversi energi gelombang menjadi energi listrik berupa turbin dan generator. Artikel ini memaparkan cara pemilihan teknologi turbin dan generator menggunakan metode *Benefit-Cost Analysis* (BCA). Jenis turbin yang dianalisis menggunakan metode BCA adalah turbin impulse, turbin savonius, dan turbin Wells. Sedangkan untuk teknologi generator, generator yang digunakan pada analisis adalah *Synchronous Generator* (SG), *Doubly Fed Induction Generator* (DFIG), *Squirrel Cage Induction Generator* (SCIG), *Permanent Magnet Excitation Generator* (PMG). Teknologi turbin dan generator dipilih berdasarkan nilai BCR tertinggi. Nilai BCR tertinggi pada teknologi turbin diperoleh turbin Savonius dengan nilai ratio 11,89. Nilai BCR tertinggi pada teknologi generator didapat generator SG dengan nilai ratio 2,951. Teknologi yang sesuai untuk diterapkan pada Sistem PLTGL-OWC di Pantai Baron berdasarkan analisis BCA adalah dengan menggunakan turbin Savonius dan generator SG.

Kata kunci: *Benefit-Cost Analysis; generator; Oscillating Water Column; turbin*

Pendahuluan

Potensi energi di Pantai Selatan Pulau Jawa sangat besar. Menurut Utami (2010) dengan Sistem OWC potensi energi listrik gelombang laut di Pantai Selatan yang dapat dimanfaatkan sebesar 1425 kW dengan panjang gelombang 95 m. Jika tiap penduduk membutuhkan 0,91 kWh (Dirjen Ketenagalistrikan, 2016) maka potensi energi tersebut dapat menyediakan tenaga listrik untuk 1566 penduduk di sekitar lokasi pembangkit listrik. Potensi energi yang dihasilkan hanya menghitung dari potensi energi gelombang laut. Efisiensi teknologi konversi seperti turbin dan generator belum menjadi bahan pertimbangan.

Teknologi turbin dan generator memiliki tingkat efisiensi dan harga yang berbeda. Tingkat efisiensi dan harga dapat mempengaruhi tingkat kelayakan pada penerapan Sistem OWC. Dengan potensi energi yang ada perlu diketahui nilai energi yang dapat dibangkitkan dengan tiap-tiap teknologi. Nilai energi yang dihasilkan adalah salah satu parameter kelayakan teknologi. Penggunaan teknologi yang sesuai dapat memanfaatkan potensi energi secara optimal. Penentuan teknologi yang sesuai untuk diterapkan dapat menggunakan metode *Benefit-Cost Analysis* (BCA). Metode BCA membandingkan nilai benefit dengan nilai cost dari teknologi yang tersedia. Ratio hasil perbandingan *benefit* dan *cost*.

Metodologi

Data yang digunakan

Data yang digunakan pada penelitian ini, antara lain data variasi tinggi gelombang laut, data efisiensi dan harga teknologi turbin dan generator.

Potensi energi yang dapat dibangkitkan

Perhitungan nilai energi gelombang laut dengan sistem *Oscillating Water Column* (OWC) diperlukan data panjang dan kecepatan gelombang laut yang dipengaruhi oleh periode datangnya gelombang. Periode datangnya gelombang dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 1 yang disarankan oleh Nielsen (1986), yaitu:

$$T=3,55 \sqrt{H} \quad (1)$$

Dengan mengetahui prakiraan periode datangnya gelombang pada daerah perairan Pantai Baron, maka dapat dihitung besar panjang dan kecepatan gelombangnya berdasarkan Persamaan 2 yang disarankan oleh (Ross, 1980) sebagai berikut:

$$\lambda= 5,12 T^2 \quad (2)$$

Maka, kecepatan gelombang datang dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.

$$V = \lambda/T \quad (3)$$

Persamaan untuk menghitung energi gelombang laut yang dihasilkan cukup dengan menghitung energi potensial saja. Dilihat dari prototipe yang ada, pergerakan gelombang laut yang menghasilkan energi pada sistem ini merupakan energi potensial atau naik turun gelombangnya saja sesuai Persamaan 4 (Wijaya, 2012).

$$E_w = 1/4 \cdot w \cdot \rho \cdot g \cdot a^2 \cdot \lambda \quad (J) \quad (4)$$

Daya yang dapat dibangkitkan dari energi gelombang laut di daerah perairan pantai selatan Pulau Jawa dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 5.

$$P_w = E_w/T$$

$$P_w = (1/4 \cdot w \cdot \rho \cdot g \cdot a^2 \cdot \lambda)/T \quad (Watt) \quad (5)$$

Teknologi yang digunakan untuk pemilihan

Penelitian ini memilih turbin terbaik dan generator terbaik berdasarkan potensi energi yang ada di Pantai Baron, Gunungkidul. Turbin yang dibandingkan, antara lain turbin impulse, turbin wells (Suleman, dkk, 2011) dan turbin savonius (Min-Fu Hsieh, dkk, 2012).

Generator yang digunakan pada pemilihan, yaitu generator AC dan generator DC. Generator AC yang digunakan pada penelitian ini, adalah Synchronous Generator (SG), Doubly Fed Induction Generator (DFIG), Squirrel Cage Induction Generator (SCIG), Permanent Magnet Excitation Generator (PMG) (O'Sullivan, dkk, 2011).

Metode Benefit-Cost Analysis (BCA)

Benefit-Cost Analysis (BCA) adalah pendekatan sistematis untuk memperkirakan kekuatan dan kelemahan alternatif misalnya dalam transaksi, aktivitas, persyaratan bisnis fungsional atau investasi proyek (David, 2013). Pada penelitian ini, benefit dan cost tiap teknologi dibandingkan untuk mengetahui nilai rasionya. Nilai ratio >1 maka teknologi layak diterapkan, dan jika nilai ratio <1 maka teknologi tidak layak diterapkan.

Nilai cost atau harga dari masing-masing teknologi didapat dari studi literatur. Sedangkan nilai benefit perlu dihitung menggunakan rumus pada Persamaan 7 (del Rio, 2014).

Perhitungan pendapatan dari penggunaan tiap-tiap teknologi:

$$\text{Revenue} = \text{Efisiensi} (\mu) \text{ teknologi} \times \text{potensi energi} \times \text{waktu operasi 1 tahun} \times \text{harga jual listrik ke PLN} \quad (6)$$

Sedangkan

$$\text{Benefit} = \text{Revenue} - \text{Cost} \quad (7)$$

Data dan Hasil Penelitian

Kondisi lapangan

Penelitian ini menggunakan studi kasus dengan lokasi di Pantai Baron, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. Lokasi Pantai Baron dapat ditempuh 40 km dari pusat kota Yogyakarta. Gambar 1 adalah foto daerah Pantai Baron dan sekitarnya.



Gambar 1. Foto pantai baron

Pemilihan tipe lokasi pemasangan PLTGL-OWC

Tipe lokasi pemasangan sistem PLTGL-OWC ada dua, yaitu *on shore* atau *shore based* dan *offshore*. Pemilihan tipe lokasi sistem OWC memiliki beberapa parameter, yaitu biaya pemasangan kabel ke jaringan listrik lokal, akses dan biaya perawatan, dan jumlah energi listrik yang dihasilkan (O’Sullivan, dkk, 2011 dan Folley, dkk, 2009).

Parameter pemilihan tipe lokasi pemasangan diberi kode pada Tabel 3. Biaya pemasangan kabel ke jaringan listrik lokal diberi kode A1, akses dan biaya perawatan diberi kode A2, jumlah energi listrik yang dihasilkan diberi kode A3. Tabel 3 memperlihatkan hasil penilaian dari parameter yang ada. Penilaian didapat dari pengamatan langsung dan studi literatur.

Tabel 1. Skor parameter pemilihan tipe pemasangan sistem OWC

No	Tipe	Skor			Skor Total	Ranking
		A1	A2	A3		
	<i>On shore</i>	4	4	2	10	1
	<i>Offshore</i>	1	2	5	8	2

Keterangan: 1 = Sangat Buruk, 2= Buruk, 3= Sedang, 4= Baik, 5= Sangat Baik

Biaya pemasangan kabel ke jaringan listrik pada sistem OWC *offshore* memerlukan biaya yang tinggi. Kabel yang digunakan adalah kabel laut. Gelombang laut di Pantai Baron berukuran besar dan banyak memiliki karang sekitar pantai. Hal ini berbahaya bagi kapal yang akan berlabuh sehingga akses perawatan sistem OWC tipe *offshore* sulit. Berbeda halnya dengan tipe *onshore*, akses darat lebih mudah dilalui. Banyak transportasi darat yang mampu mencapai daerah sekitar Pantai Baron.

Jumlah energi listrik yang dapat dihasilkan dari kedua sistem memiliki jumlah potensi yang berbeda. Tipe *offshore* memiliki keunggulan gelombang tidak terjadi pendangkalan dan pecah karena karang sehingga jumlah potensi energi listrik yang dihasilkan lebih tinggi (Folley, dkk, 2009). Dari kondisi ini dihasilkan nilai yang dirangkum pada Tabel 3. Skor total merupakan penjumlahan skor tiap parameter. Penilaian skor parameter bersifat subjektif sehingga perlu dilakukan penelitian lebih intensif terhadap pemilihan tipe lokasi sistem PLTGL-OWC. Berdasarkan Tabel 3 tipe lokasi yang dipilih untuk pemasangan sistem PLTGL-OWC adalah tipe lokasi pemasangan pada *on shore*

Perhitungan potensi energi di Pantai Baron

Untuk menghitung potensi daya listrik yang dihasilkan diperlukan menghitung periode (T) dan panjang gelombang (λ). Periode datangnya gelombang dan panjang gelombang (λ) dengan tinggi gelombang (H) 2,54 meter (Kurniawan, dkk, 2011) dihitung menggunakan Persamaan 1 dan 2.

$$T=3,55 \sqrt{H}$$

$$T=3,55 \sqrt{2,54}$$

Maka nilai T=5,66 detik

$$\lambda=5,12T^2$$

$$\lambda=5,12 \times (5,66)^2$$

Maka nilai λ=164 meter

Potensi daya yang dapat dibangkitkan dari energi gelombang laut daerah perairan pantai di Indonesia dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 5. Diketahui bahwa lebar chamber w 2,4 meter (Utami, 2010), massa jenis ρ air laut sebesar 1030 Kg/m³, dan gravitasi bumi g sebesar 9,81 m/s², periode T sebesar 5,66 detik dan panjang gelombang sebesar 164 meter.

$$P_w = 1/4 \times (w \cdot \rho \cdot g \cdot a^2 \cdot \lambda) / T$$

$$P_w = 1/4 \times (2,4 \times 1030 \times 9,81 \times 1,27^2 \times 164) / 5,66$$

$$P_w = 566864 \text{ Watt}$$

$$P_w = 566,86 \text{ kW}$$

Asumsi efisiensi teknologi dan sumber

Nilai efisiensi teknologi turbin dan generator dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Asumsi efisiensi teknologi

Asumsi	Value	Reference
Turbin impulse	80%	Suleman dkk, 2011
Turbin savonius	59%	Min-Fu Hsieh dkk, 2012
Turbin wells	65%	Suleman dkk, 2011
SG	98,09%	Hamid, Muhammad Imran. dkk. 2006
DFIG	93%	Saeed, Sameh Karem, dkk, 2015
SCIG	75,50%	Jadhav, Seema, 2017
PMG	97,70%	Ramasamy, Bharani Kumar, dkk, 2013

Daftar Cost Turbin dan Generator

Cost turbin diambil dari daftar harga oleh supplier yang terdapat pada *reference*. Cost turbin tidak menghitung biaya shipping dan *landed price*. Daftar cost turbin dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Daftar cost turbin

Asumsi	Nilai	Reference
Harga turbin impulse (USD)	10000	Shenyang Getai
Harga turbin savonius (USD)	5753	Hopeful Wind Energy Tech
Harga turbin Wells (USD)	15000	Shenyang Getai

Cost generator didapat berdasarkan studi literatur. Generator yang digunakan memiliki kapasistas 700 kVA. Daftar cost generator dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Daftar cost generator

Asumsi	Nilai	Reference
SG	USD 31.200	O'Sullivan, 2011
DFIG	USD 57.600	O'Sullivan, 2011
SCIG	USD 28.800	O'Sullivan, 2011
PMG	USD 49.200	O'Sullivan, 2011

Perbandingan benefit turbin dan generator

Harga jual listrik ke PLN dengan asumsi harga sama dengan BPP Nasional PLN sebesar USD 0,0739/kWh (Permen ESDM, 2017). Tabel 5 menunjukkan hasil perbandingan nilai benefit pada teknologi turbin.

Contoh perhitungan benefit pada turbin impulse adalah

Pendapatan = μ impulse x potensi daya listrik x harga jual ke PLN x waktu operasi setahun

Pendapatan = 80% x 566,864 kWatt x USD 0,0739 /kWh x 3000 jam

Pendapatan = USD 1.005.389,99

Benefit = Revenue – cost turbin impulse

Benefit = 1.005.389,99 – 10.000

Benefit = USD 995.389,99

Tabel 5. Perbandingan benefit teknologi turbin

Turbin	Efisiensi	Harga Jual Listrik per kWh (USD)	Cost (USD)	Benefit (USD)
Impulse	80%	0.0739	10000	90538,99
Savonius	59%	0.0739	5753	68394,51
Wells	65%	0.0739	15000	66687,94

Tabel 6 menunjukkan daftar benefit dari teknologi generator yang digunakan pada penelitian ini. Contoh perhitungan benefit pada generator SG adalah

Pendapatan = μ Generator SG x potensi daya listrik x harga jual ke PLN x waktu operasi setahun

Pendapatan = 98,09% x 566,864 kWatt x USD 0,0739/kWh x 3000 jam

Pendapatan = USD 123.273,38

Benefit = Revenue – cost generator SG

Benefit = 123.273,38 – 31 200

Benefit = USD 92.073,38

Tabel 6. Perbandingan benefit teknologi generator

Generator	Efisiensi	Harga Jual Listrik per kWh (USD)	Cost (USD)	Benefit (USD)
SG	98,09%	0,0739	31.200	92.073,38
DFIG	93%	0,0739	57.600	59.276,59
SCIG	75,50%	0,0739	28.800	66.083,68
PMG	97,70%	0,0739	49.200	73.583,25

Benefit-Cost Ratio (BCR)

Hasil perhitungan *benefit* kemudian dibandingkan dengan nilai *cost* masing-masing teknologi untuk mendapatkan nilai BCR. Tabel 7 dan 8 menunjukkan perbandingan nilai *Benefit Cost Ratio* (BCR) dari teknologi turbin dan generator.

Tabel 7. Perbandingan BCR pada Turbin

Turbin	Cost (USD)	Benefit (USD)	BCR
Impulse	10000	90538,99	9,05
Savonius	5753	68394,51	11,89
Wells	15000	66687,94	4,45

Tabel 8. Perbandingan BCR pada generator

Generator	Cost (USD)	Benefit (USD)	BCR
SG	31.200	92.073,38	2,951
DFIG	57.600	59.276,59	1,029
SCIG	28.800	66.083,68	2,295
PMG	49.200	73.583,25	1,496

Pembahasan

Turbin Impulse terlihat memiliki benefit yang lebih unggul dibandingkan dengan turbin Savonius dan turbin Wells. Nilai benefit yang dihasilkan oleh turbin Impulse adalah sebesar USD 90538,99. Nilai benefit yang dihasilkan turbin Savonius dan turbin Wells berturut-turut adalah USD 68394,51 dan USD 66687,94. Jika diranking berdasarkan benefit terbesar maka turbin Impulse adalah ranking 1, turbin Savonius ranking 2, dan turbin Wells ranking 3.

Nilai benefit terbesar pada teknologi generator diperoleh generator SG dibandingkan generator lainnya. Hal ini disebabkan karena generator SG memiliki efisiensi tertinggi dengan *cost* yang rendah. Nilai benefit terendah dimiliki oleh generator DFIG. Generator DFIG memiliki nilai *cost* terbesar sehingga benefit yang dihasilkan rendah.

Perbandingan nilai Benefit Cost Ratio (BCR) ditampilkan pada Tabel 7 dan Tabel 8. Berdasarkan Tabel 7, nilai BCR terbesar adalah turbin Savonius. Nilai BCR terkecil adalah turbin Wells. Nilai BCR pada turbin yang terdapat pada Tabel 7 menunjukkan bahwa setiap turbin layak untuk diterapkan. Teknologi turbin yang paling baik diterapkan dibandingkan teknologi turbin lainnya pada Tabel 7 adalah turbin Savonius.

Perbandingan BCR teknologi generator dapat dilihat pada Tabel 8. Nilai BCR tertinggi adalah generator SG. Generator SG memiliki nilai BCR 2,951. Urutan kedua setelah generator SG adalah generator SCIG dengan nilai BCR sebesar 2,295. Nilai BCR terendah adalah 1,029 yang dimiliki generator DFIG. Pada Tabel 8 dapat dipilih teknologi generator yang paling layak diterapkan, yaitu generator SG.

Kesimpulan

1. Perbandingan nilai benefit dengan BCR menunjukkan bahwa nilai benefit tertinggi tidak berarti memiliki nilai BCR tertinggi. Nilai benefit turbin tertinggi diperoleh turbin Impulse dengan nilai USD 90538,99 sedangkan pada analisis menggunakan BCR, nilai BCR tertinggi diperoleh turbin Savonius dengan nilai ratio 11,89.
2. Generator yang memiliki nilai benefit tertinggi adalah generator SG dengan nilai USD 92073,38. Generator yang memiliki nilai BCR tertinggi adalah generator SG dengan nilai ratio 2,951.

Daftar Pustaka

- Del Rio, P., Cerdá, Emilio. (2014), The Policy Implications of the Different Interpretations of the Cost-Effectiveness of Renewable Electricity Support, Energy Policy, Volume 64 Pages 364-372, ISSN 0301-4215
- Hopeful Wind Energy Technology Co., Ltd, “Maglev Wind Generator Turbine”, https://www.alibaba.com/product-detail/maglev-wind-generator-turbine_60446122118.html?spm=a2700.7724857.main07.294.52f8d3d4GaGEoL, Diakses 29 Juli 2017
- Nielsen, Kim. (1986), “On the Performance of Wave Power Converter”, Int. Sym. Util.of Ocean Waves, Jun-86
- O’Sullivan, Dara L., Lewis, Anthony W., (2011), “Generator Selection and Comparative Performance in Offshore Oscillating Water Column Ocean Wave Energy Converters”, IEEE Transaction On Energy Converter, Vol. 26, No 2
- Ross, David. (1980), “Energy from the Waves”, 2nd Edition Revised & Enlarged, Pergamon Press
- Shanghai (AXD) Electric Heavy Machinery, “Export Dalian Motor”, https://www.alibaba.com/product-detail/Export-dalian-motor_60488035793.html?spm=a2700.7724838.2017115.104.iaLIEe, Diakses 25 Juli 2017
- Shanyang Getai Hydropower Equipment Co, Ltd, “Anti - Kavitas & EPC Pelton Produsen dengan Harga Turbin Air untuk Generator Turbin Turbin Dibuat di Cina dari Shenyang Generator”, <https://indonesian.alibaba.com/product-detail/anti-cavitation-epc-pelton-turbine-manufacturers-with-water-turbine-price-for-turbine-generator-made-in-china-from-shenyang-ge-1473453587.html?spm=a2700.8699010.29.97.11ca34193qwewP>, Diakses 31 Juli 2017
- Utami, Siti Rahma. (2010), “Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut dengan Menggunakan Sistem Oscillating Water Column (OWC) di Tiga Puluh Wilayah Perairan Indonesia”, Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia