

ANALISIS POTENSI ATAP BANGUNAN KAMPUS SEBAGAI LOKASI PENEMPATAN PANEL SURYA SEBAGAI SUMBER LISTRIK

Elieser Tarigan¹, Fitri Dwi Kartikasari²

¹Jurusan Teknik Elektro, Universitas Surabaya
elieser@staff.ubaya.ac.id

²Jurusan Teknik Informatika, Universitas Surabaya
fitri_dk@staff.ubaya.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan dengan simulasi untuk mengetahui potensi pemanfaatan area atap bangunan kampus Universitas Surabaya untuk tempat pemasangan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Atap bangunan perpustakaan disimulasikan dan menjadi representasi perhitungan untuk atap bangunan yang lain. Sistem PLTS grid-connected dipakai dalam perhitungan energi listrik PLTS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tersedia area atap bangunan seluas 10.353 m² yang dapat dimanfaatkan untuk instalasi panel surya. Total kapasitas listrik yang dihasilkan untuk area seluas itu adalah 2.030 kWp atau 2,03 MWp. Kapasitas sebanyak itu terbagi empat, yaitu 630 kWp dari atap yang menghadap Timur Laut, 535 kWp dari arah Barat Laut, 668 kWp pada arah Barat Daya dan 553 kWp dari arah Tenggara.

Kata kunci: PLTS, atap bangunan, panel surya, energi listrik

1. PENDAHULUAN

Energi surya merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang paling mudah didapat dan berlimpah jumlahnya, yang beberapa waktu belakangan mulai meningkat pemanfaatannya. Energi surya dalam bentuk radiasi dapat dirubah secara langsung menjadi energi listrik dengan menggunakan teknologi photovoltaic (PV) (Benatillah et al. 2007), yang perangkatnya sering disebut sel surya, serta sistemnya dinamakan pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Pengukuran potensi energi matahari di lokasi yang direncanakan untuk pemasangan sistem PLTS sangat diperlukan dan akan mempengaruhi keberhasilan implementasi sistem itu sendiri. Potensi energi yang akan dihasilkan sangat bergantung pada tingkat sinar matahari di area tersebut (Redweik et al. 2013). Salah satu aspek yang harus diperhatikan untuk mengevaluasi potensi Energi listrik yang dihasilkan dari pemasangan sistem PLTS yang dipasang pada atap bangunan adalah arsitektur bangunan itu sendiri, yaitu identifikasi permukaan atap (datar atau miring), jumlah lantai pada setiap bangunan, dan klasifikasi bentuk atap (Orioli & Di Gangi 2014).

Teknik simulasi komputer dapat dipakai untuk memprediksi kinerja sistem PV sebelum pemasangan. Teknik ini akan meminimalisasi biaya bahan dan pemasangan (Tarigan et al.

ngukur potensi pemasangan sistem PV pada atap bangunan (Kus et al. 2015). Kuantifikasi potensi PLTS pada atap gedung di Ontario bagian tenggara telah dilakukan oleh Wiginton dkk (Wiginton et al. 2010). Langkah - langkah yang dapat dilakukan untuk menentukan potensi permukaan atap untuk PLTS, antara lain pengambilan sampel, pembagian wilayah secara geografis, menentukan hubungan antara luasan atap dan jumlah penduduk, mengurangi luasan atap yang tersedia dengan bagian yang tidak terkena sinar matahari atau dipakai untuk keperluan lain, dan konversi ke energi yang dihasilkan. Vardimon (Vardimon 2011) melakukan penelitian tentang area atap yang bermanfaat di Israel. Penelitian tersebut dilakukan dengan menggunakan orthoimages untuk mengekstrak gambar lapisan-lapisan gedung. Luasan atap yang tersedia dihitung dengan data GIS. Dilaporkan bahwa listrik yang dihasilkan oleh sistem PLTS atap ini per tahun setara

dengan 32% konsumsi listrik tahunan di Israel. Bergamasco dkk (Bergamasco & Asinari 2011) mengevaluasi potensi Energi yang dihasilkan oleh sistem PLTS beserta aplikasinya di daerah Pied-mont (Barat Laut Italia). Luas atap yang dapat digunakan untuk aplikasi sistem PLTS dihitung berdasarkan analisis data GIS yang tersedia.

Penelitian ini dilakukan dengan simulasi dengan tujuan mengestimasi luasan dan potensi atap gedung di Universitas Surabaya yang dapat dimanfaatkan untuk pemasangan panel surya. Simulasi juga dilakukan selanjutnya untuk menghitung Energi listrik yang dapat dihasilkan oleh sistem PLTS *grid-connected* yang terhubung dengan jaringan listrik yang ada. Selain itu, model matematis sederhana dirancang untuk mengestimasi satuan biaya energi listrik dari sistem PLTS yang disimulasikan.

2. METODOLOGI

Luas permukaan total

Pada saat penelitian ini dilaksanakan, terdapat 29 bangunan permanen di kampus Universitas Surabaya. Nama dan lokasi masing-masing bangunan yang diambil dari Google Earth™ dapat dilihat pada Gambar 1. Aturan penamaan gedung memakai dua huruf kapital. Huruf pertama merupakan inisial nama fakultas dan huruf kedua adalah nama gedung, contohnya EA berarti gedung A fakultas Ekonomi, FB artinya gedung B Fakultas Farmasi. Gedung-gedung tersebut dimanfaatkan untuk berbagai kegiatan akademik, seperti ruang kelas, kantor, perpustakaan, laboratorium, dan kantin. Terdapat beberapa bangunan tidak permanen dan semi permanen yang tidak diikutkan dalam penelitian ini. Bangunan yang diteliti terdiri atas gedung bertingkat yang kondisinya ditunjukkan pada Tabel 1. Luas permukaan seluruh area kampus dan atap bangunan yang tersedia ditentukan berdasarkan fitur Polygon dari Google Earth™ (menghitung jarak atau luas dari bentuk-bentuk geometri).

Secara umum arah hadap atap gedung memiliki kemiringan 45° terhadap mata angin masing-masing menghadap Timur Laut, Tenggara, Barat Daya, dan Barat Laut seperti terlihat pada gambar 1 dan gambar 4. Pada umumnya atap gedung yang menjadi obyek penelitian ini bertipe *hip roof* dengan subtype *Gablet roof* atau *Dutch roof* (Kuchler 2013) yang memiliki 4 sisi dengan arah seperti terlihat pada Gambar 2. Seluruh atap terpasang pada kemiringan 35° relative terhadap horizontal.

Tabel 1. Kategori Gedung berdasarkan jumlah lantai

Jumlah lantai	Gedung
2	EB, FA, TA, PA, International Village, Kantin
3	TB,ED
4	EA, EC, FB, FC, FD, FE,HA,HB,TC, TD, TE, TF,PB, PC, PD, PE
6	FF, FG, Library, TG

Untuk luasan atap, pengukuran dilakukan pada setiap sisi sesuai orientasi geografisnya. Hal ini perlu dilakukan karena simulasi untuk panel surya akan disesuaikan dengan orientasi atap masing-masing gedung.



Gambar 2. Tipe atap *gabled* (atas) dan *hip roof* (bawah)

Luasan atap yang dapat dimanfaatkan

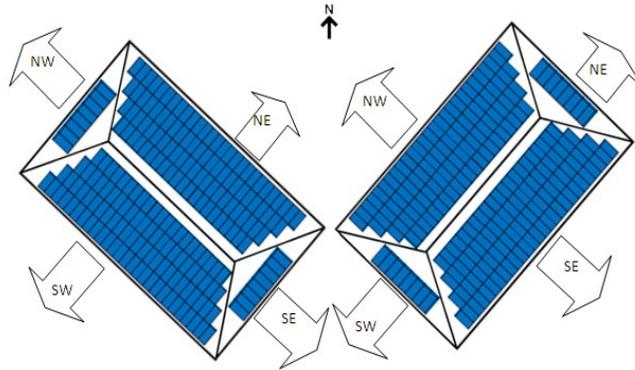
Penentuan luasan atap yang dapat dimanfaatkan untuk pemasangan sistem PV didasarkan pada karakteristik geometri masing-masing gedung. Mula-mula dipilih gedung perpustakaan sebagai sampel penelitian. Selanjutnya total luas area atap yang dapat dimanfaatkan dihitung dari peta yang diperoleh melalui aplikasi Google EarthTM yang diskalakan dengan menggunakan aplikasi Google Sketch. Metode ini juga dapat memberikan estimasi luasan atap yang sudah dipakai untuk hal lain, misalnya poros lift, HVAC, antenna, atau peralatan lain yang dapat mengganggu sistem PV. Selanjutnya dilakukan simulasi dengan berbagai macam spesifikasi panel surya untuk mendapatkan prosentase rata-rata luas permukaan efektif setelah dikurangi dengan elemen pengganggu. Gambar sebenarnya beserta gambar simulasi atap gedung contoh yang akan dipasang sistem panel surya dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Gedung perpustakaan untuk simulasi

Simulasi

Sistem PLTS *grid-connected* disimulasikan dengan panel surya yang dipasang selaras dengan orientasi atap gedung. Panel surya yang dipakai dalam simulasi adalah jenis *mono crystalline*, produksi Sunpower Model SPR-320NE-WHT-D, kapasitas 320 Wp per panel. Peletakan panel surya untuk masing-masing orientasi (arah hadap) atap gedung ditunjukkan pada gambar 4. Setiap sisi permukaan atap dimanfaatkan semaksimal mungkin untuk pemasangan panel surya.



Gambar 4. Peletakan panel surya untuk gedung yang berbeda orientasi

Simulasi sistem PLTS yang terhubung dengan jaringan dilakukan pada salah satu gedung saja, yaitu gedung perpustakaan. Simulasi ini dilakukan untuk mendapatkan estimasi energi yang dihasilkan oleh sistem PV tersebut. Simulasi dilakukan dengan perangkat lunak SolarGIS – Pvpplanner, sebuah simulator online untuk sistem PLTS. Aplikasi ini menggunakan teknologi pemrograman Google Web Toolkit yang mengintegrasikan model simulasi numerik dari pencatatan data dengan basis data iklim terkini (Marcel S. & Tomáš C. 2012). Simulator ini menyediakan hasil perhitungan pada wilayah yang dipilih (SolarGis n.d.). Untuk simulasi di gedung perpustakaan, pemasangan panel pada atap di atap dibagi dalam 9 bagian, masing-masing sesuai posisi dan orientasi.

Analisis biaya satuan listrik

Estimasi harga satuan listrik sistem *grid-connected* dihitung dengan menggunakan metode yang sudah pernah diaplikasikan pada penelitian sebelumnya (Tarigan et al. 2015). Komponen biaya terdiri atas biaya modul, biaya keseimbangan sistem (*balance of sistem*) atau BOS, waktu hidup sistem, insentif, dan biaya operasional dan perawatan (O&M). Biaya total per *watt peak* dari suatu sistem PLTS dapat dihitung dengan persamaan matematis yang diturunkan. Perhitungan secara numerik dapat dilakukan untuk mengestimasi harga satuan listrik sistem PLTS (C_{pv}) dengan rumusan berikut:

$$C_{pv} = \frac{\text{Levelized annual cost}}{\text{Produksi listrik per tahun}} \quad (1)$$

Levelized annual cost dari suatu sistem PLTS *grid-connected* terdiri atas biaya operasional dan perawatan, biaya tahunan pengembalian modal, asuransi, pajak, dan lain sebagainya. Biaya tahunan pemulihan modal yang kembali dapat diperhitungkan sebagai komponen biaya modal C_c dan factor pemulihan modal dengan hubungan (Kandpal T.C. and Garg H.P. 2003)

$$\text{Biaya tahunan pemulihan modal} = C_c \left[\frac{r(1+r)^t}{(1+r)^t - 1} \right] \quad (2)$$

Dengan C_c adalah biaya modal awal, r adalah tingkat suku bunga, dan t adalah waktu hidup sistem. Jika komponen biaya operasional dan perawatan (O&M) tahunan diasumsikan n kali biaya modal, sedangkan asuransi, pajak, dan lain sebagainya adalah m kali biaya modal, dengan $0 < m, n < 1$ maka *levelized annual cost* dapat dinyatakan sebagai:

$$C_{\text{annual}} = C_c \left[\frac{r(1+r)^t}{(1+r)^t - 1} + n + m \right] \quad (3)$$

Berdasarkan factor kapasitas pemanfaatan, (*capacity utility factor*), F sebuah sistem PLTS, produksi listrik tahunan (annual) dapat diestimasi dengan persamaan berikut

$$\text{Annual} = (8,760 \times (\text{daya maksimum sistem PLTS}) \times (F)) \quad (4)$$

Persamaan biaya listrik per unit yang dihasilkan oleh sebuah sistem PLTS grid-connected, C_{pv} , dapat disederhanakan dengan menyatakan total biaya modal C_c sebagai hasil kali dari daya maksimum dan biaya total per watt peak, C_{pw} , sebagai berikut

$$C_{pv} = \frac{C_{pw} \left[\frac{r(1+r)^t}{(1+r)^t - 1} + n + m \right]}{8,760 F} \quad (5)$$

Perhitungan numerik dilakukan dengan menggunakan persamaan (5) untuk mengestimasi biaya listrik per unit dari suatu sistem PLTS.

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Lokasi gedung kampus Universitas Surabaya seperti tertera pada Google MapsTM adalah di antara 7°19'22.98" - 7°19'04.04" Lintang Selatan dan 112°46'22.02" - 112°22'04.65". Luas tanah yang ditempati kampus ini adalah 88.020 m² dengan keliling sepanjang 1535 m. Total luas atap seluruh gedung di kampus Ubaya ini kurang lebih 12.280 m², atau sekitar 14% dari luas tanahnya. Atap setiap gedung terdiri atas empat sisi dengan luas total atap yang menghadap timur laut adalah 3.219 m² atau 26%, menghadap tenggara 2.731 m² (22%), menghadap Barat Daya 3.409 m² (29%), dan menghadap Barat Laut 2.821 m² (23%). Rinciannya dapat dilihat pada Tabel 2.

Untuk implementasi sistem PLTS pada setiap gedung tetap diperlukan informasi detil serta kajian khusus pada masing-masing gedung. Faktor yang perlu diperhatikan adalah halangan oleh bayangan benda atau bangunan lain di sekitar gedung tersebut ataupun gangguan lain yang bisa disebabkan oleh poros lift, HVAC, antenna dan lainnya. Penelitian sebelumnya yang dilakukan di Spanyol pada tipe atap yang sama menyatakan bahwa luas permukaan atap yang dapat dimanfaatkan adalah 78,9% (Ordez et al. 2010). Mengacu pada penelitian tersebut, pada

penelitian ini estimasi luas permukaan atap yang dapat dimanfaatkan dapat dilihat pada kolom kedua dari kanan pada Table 2.

Tabel 2. Luas permukaan atap masing-masing gedung beserta orientasinya

No	Building's Name	Total Roof Area (m ²)	Roof Area (m ²) and Orientation				Estimated Useful Area (m ²)	Potential PV instalation (kWp)
			NE	SE	SW	NW		
1	EA	516	34	224	34	224	439	86,1
2	EB	324	42	120	42	120	275	54
3	EC	304	26	126	26	126	258	50,7
4	ED	250	90	35	90	35	213	41,7
5	FA	200	50	50	50	50	170	33,4
6	FB	380	140	50	140	50	323	63,4
7	FC	400	40	160	40	160	340	66,7
8	FD	400	160	40	160	40	340	66,7
9	FE	440	50	170	50	170	374	73,4
10	FF	420	170	40	170	40	357	70
11	FG	320	40	120	40	120	272	53,4
12	HA	420	170	40	170	40	357	70
13	HB	408	142	62	142	62	347	68
14	TA	340	30	140	30	140	289	56,7
15	TB	400	160	40	160	40	340	66,7
16	TC	480	40	200	40	200	408	80
17	TD	360	140	40	140	40	306	60
18	TE	360	140	40	140	40	306	60
19	TF	360	140	40	140	40	306	60
20	TG	420	40	170	40	170	357	70
21	PA	280	40	100	40	100	238	46,7
22	PB	330	130	35	130	35	281	55
23	PC	480	200	40	200	40	408	80
24	PD	380	160	30	160	30	323	63,4
25	PE	380	160	30	160	30	323	63,4
26	Library	1400	373	187	563	277	1.190	233,5
27	Canteen	560	130	150	130	150	476	93,4
28	Int. Village	408	142	62	142	62	347	68
29	Post grad.	460	40	190	40	190	391	76,7

Berdasarkan gambar yang diperoleh dari Google MapsTM dan dengan bantuan aplikasi Google Sketch Up, dapat dilihat bahwa 85% dari luasan atap gedung yang dipilih sebagai referensi perhitungan dapat dimanfaatkan untuk penempatan panel surya. Detil penempatan panel surya tersebut seperti ditampilkan pada Gambar 3. Estimasi luasan atap gedung perpustakaan (yang dipakai dalam simulasi) yang dapat dimanfaatkan dapat dilihat pada Tabel 3. Dengan mengasumsikan penggunaan modul surya jenis monokristalin, kapasitas area panel yang dapat digunakan pada atap gedung tersebut dapat disimulasikan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kapasitas total panel yang terpasang di atap gedung perpustakaan tersebut sekitar 233,4 kWp. Hasil kajian untuk potensi kapasitas instalasi panel surya untuk masing masing gedung ditunjukkan pada kolom paling kanan Tabel 2.

Total kapasitas panel untuk atap seluruh gedung di kampus Universitas Surabaya kemudian dapat diestimasi berdasarkan data dari Tabel 2 serta hasil simulasi pada gedung perpustakaan

(Tabel 3). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dari 12.180 m² luas total atap seluruh gedung di kampus Universitas Surabaya, sekitar 10.353 m² dapat dimanfaatkan untuk pemasangan panel surya.



Gambar 6. Bagian atap untuk simulasi

Tabel 3. Potensi Energi atap gedung perpustakaan

Segment	Orientation	Total Roof Area (m ²)	Estimated Useful Area (m ²)	Estimated PV panels Capacity (Wp)
r1	SW	100	85	16.660
r2	SE	104	88	17.248
r3	NW	104	88	17.248
r4	SW	90	77	15.092
r5	NW	90	77	15.092
r6	SW	373	317	62.132
r7	NW	83	71	13.916
r8	SE	83	71	13.916
r9	NE	373	317	62.132
				Total: 233.436

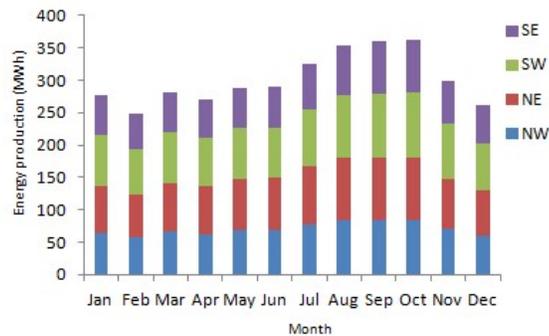
Total kapasitas keseluruhan panel tersebut adalah 2.030 kWp atau 2,03 MWp yang diperoleh dari keempat sisi atap, masing-masing 630 kWp, 535 kWp, 668 kWp, dan 553 kWp dari atap yang menghadap Timur Laut, Tenggara, Barat Daya, dan Barat Laut. Simulasi dilakukan menggunakan SolarGIS-pvPlanner untuk mengestimasi Energi yang dihasilkan oleh sistem PV yang dipasang di Surabaya dengan berbagai parameter geometris posisi matahari. Dari hasil simulasi diperoleh data rata-rata produksi Energi per hari untuk panel silicon mono cristaline yang dipasang pada kemiringan 35° untuk setiap sisi seperti terlihat pada Tabel 4. Sudut kemiringan dipilih berdasarkan kemiringan atap gedung. Perubahan jenis panel surya pada parameter simulasi menunjukkan hasil yang sedikit berbeda. Pada semua kasus, panel yang menghadap Timur Laut menghasilkan Energi tertinggi dibandingkan ketiga orientasi lainnya. Hal ini sesuai dengan posisi Surabaya yang terletak di Selatan garis khatulistiwa.

Produksi energi per bulan dari suatu sistem PLTS *grid-connected* dapat diestimasi berdasarkan data harian serta kapasitas area yang tersedia pada atap. Hasil simulasi menunjukkan bahwa, jika seluruh atap gedung di Universitas Surabaya dimanfaatkan untuk pemasangan panel surya maka produksi energi per bulannya akan berkisar antara 248 mWh sampai 362 mWh. Gambar 6 menunjukkan total energi per bulan yang dihasilkan dari seluruh atap, masing-masing untuk atap yang menghadap Tenggara, Barat Daya, Timur Laut, dan Barat Laut.

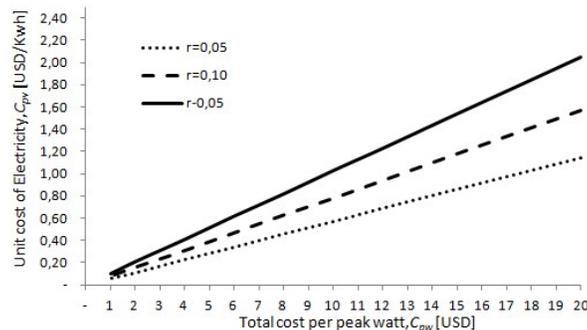
Tabel 4. Produksi Energi per hari dalam kWh/kWp dari Silicon PV di Surabaya

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sept	Oct	Nov	Dec	Avg
NW	3.75	3.73	3.83	3.82	3.94	4.12	4.45	4.86	5.09	4.95	4.20	3.55	4.19
NE	3.73	3.74	3.89	3.93	4.11	4.32	4.65	5.00	5.15	4.92	4.16	3.52	4.26
SE	3.79	3.74	3.79	3.72	3.79	3.92	4.23	4.67	4.95	4.89	4.22	3.59	4.11
SW	3.79	3.74	3.79	3.72	4.79	4.92	4.23	4.67	4.95	4.89	4.22	3.59	4.11

Produksi energi per bulan dari suatu sistem PLTS *grid-connected* dapat diestimasi berdasarkan data harian serta kapasitas area yang tersedia pada atap. Hasil simulasi menunjukkan bahwa, jika seluruh atap gedung di Universitas Surabaya dimanfaatkan untuk pemasangan panel surya maka produksi energi per bulannya akan berkisar antara 248 mWh sampai 362 mWh. Gambar 6 menunjukkan total energi per bulan yang dihasilkan dari seluruh atap, masing-masing untuk atap yang menghadap Tenggara, Barat Daya, Timur Laut, dan Barat Laut.



Gambar 6. Produksi Energi per bulan dari sistem PV di atap gedung



Gambar 7. Biaya per satuan Energi listrik

Estimasi biaya riil per satuan Energi listrik dari sistem PLTS ini dihitung dengan menggunakan persamaan (5). Nilai parameter yang dipakai dalam perhitungan adalah $t = 20$ tahun, $n = 5\%$, $F = 20\%$, dan $m = 0$. Simulasi dilakukan untuk tiga nilai r yang berbeda, yaitu 0,05; 0,10; dan 0,15.

Hasil perhitungan dapat dilihat pada Gambar 7. Berdasarkan nilai konversi dari grafik di atas, pada saat ini rata-rata biaya per satuan Energi listrik C_{pw} berkisar antara 0,30 – 0,60 USD/kWh.

3. KESIMPULAN

Simulasi sistem pembangkit listrik tenaga surya di atap gedung Universitas Surabaya telah dilakukan. Luas total atap seluruh gedung di kampus Universitas Surabaya adalah 12.280 m². Setiap gedung memiliki atap yang terdiri atas empat sisi, masing-masing menghadap Timur Laut, Tenggara, Barat Daya, dan Barat Laut dengan luasan total masing-masing adalah 3.219 m² (26%), 2.731 m² (22%), 3.409 m² (29%), dan 2.821 m² (23%). Total kapasitas panel yang dapat dipasang sekitar 2.030 kWp atau 2,03 MWp dengan produksi Energi per bulan berkisar antara 248 mWh sampai 362 mWh. Perhitungan biaya per satuan Energi listrik menunjukkan bahwa sistem PV semacam ini memiliki potensi untuk menyediakan listrik dengan harga yang dapat bersaing dengan sumber Energi listrik lainnya, terutama dengan teknologi yang terus berkembang

REFERENSI

- Benatiallah, A. et al., 2007. A simulation model for sizing PV installations. *Desalination*, 209(1), pp.97–101.
- Bergamasco, L. & Asinari, P., 2011. Scalable methodology for the photovoltaic solar energy potential assessment based on available roof surface area: Application to Piedmont Region (Italy). *Solar Energy*, 85(5), pp.1041–1055.
- Kandpal T.C. and Garg H.P., 2003. *Financial evaluation of renewable energy technologies*,
- Ko, L. et al., 2015. Evaluation of the development potential of rooftop solar photovoltaic in Taiwan. *Renewable Energy*, 76, pp.582–595.
- Kuchler, S., 2013. *Solar Energy Assesment Based on Weather Station Data for Direct Site Monitoring in Indonesia*. Dalarna University.
- Marcel S. & Tomáš C., 2012. New Web-Based Service Offering Solar Radiation Data and PV Simulation Tools for Europe, North Africa and Middle East. In *Eurosun*.
- Ordóñez, J. et al., 2010. Analysis of the photovoltaic solar energy capacity of residential rooftops in Andalusia (Spain). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), pp.2122–2130.
- Orioli, A. & Di Gangi, A., 2014. Review of the energy and economic parameters involved in the effectiveness of grid-connected PV systems installed in multi-storey buildings. *Applied Energy*, 113, pp.955–969. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.08.014>.
- Redweik, P., Catita, C. & Brito, M., 2013. Solar energy potential on roofs and facades in an urban landscape. *Solar Energy*, 97, pp.332–341. SolarGis, SolarGis PVPlanner. Available at: <http://solargis.info/pvplanner> [Accessed June 20, 2006].
- Tarigan, E., Djuwari & Kartikasari, F.D., 2015. Techno-economic Simulation of a Grid-connected PV System Design as Specifically Applied to Residential in Surabaya, Indonesia. *Energy Procedia*, 65, pp.90–99.
- Vardimon, R., 2011. Assessment of the potential for distributed photovoltaic electricity production in Israel. *Renewable Energy*, 36(2), pp.591–594.
- Wiginton, L.K., Nguyen, H.T. & Pearce, J.M., 2010. Quantifying rooftop solar photovoltaic potential for regional renewable energy policy. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34(4), pp.345–357.