

**KESESUAIAN POSISI ORIENTASI DAN KEMIRINGAN
SOLAR SEL PADA BIDANG SELIMUT BANGUNAN
DALAM MANIFESTASI ARSITEKTUR AKTIF DESAIN**

Eddy Indarto¹, Gagoek Hardiman², Bambang Adji Murtomo³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Arsitektur Universitas Diponegoro
Jl.Hayam Wuruk No.05 Pleburan – Semarang – Jawa Tengah

ABSTRAK

Sepanjang sejarah , iklim, energi, dan kebutuhan kebutuhan sumber daya merupakan hal fundamental dalam seni dan tatanan arsitektur. Walaupun kesadaran tentang keterbatasan sumberdaya alam dan keterbatasan energi sudah dimulai sejak tahun 1973 (Altore (2002), oleh karena itu konsep desain dalam rangka hemat energi dalam arsitektur terdapat desain pasif dan desain aktif.

Pemanfaatan solar sel sebagai energi alternatif, paling tidak dapat membantu sementara pada saat listrik padam, sehingga pekerjaan tetap dapat dilakukan walaupun terjadi pemadaman listrik. Selain itu, pemanfaatan solar sel ini merupakan sumber energi listrik alternatif yang terbarukan, tidak mengeluarkan emisi, dan tentunya ramah lingkungan.

Agar fungsi solar sel ini dapat maksimal dalam menghasilkan listrik, maka posisi orientasi dan kemiringan 30° sesuai kemiringan atap pada umumnya menjadi variabel pokok. Hal ini tentunya berkaitan dengan penempatan elemen solar sel tersebut pada bangunan. Oleh karena itu penting untuk dilakukan penelitian tentang “posisi orientasi sesuai kemiringan atap” ini agar dalam penempatan dan perancangannya pada selimut bangunan dapat serasi dan sesuai dengan kaidah arsitektur, akan tetapi tetap efektif menghasilkan energi listrik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa, a) sesuai kemiringan atap pada umumnya, solar-sel secara efektif menghasilkan tegangan untuk orientasi solar-sel yang menghadap ke arah Barat-Laut, urutan berikutnya adalah yang orientasinya menghadap Barat; b) sesuai kemiringan atap pada umumnya, solar-sel secara efektif menghasilkan arus untuk orientasi solar-sel yang menghadap ke arah Utara, urutan berikutnya adalah yang orientasinya menghadap ke arah Barat; dan c) Daya semu (VA) yang dihasilkan solar-sel dengan kemiringan sesuai kemiringan atap pada umumnya, secara efektif adalah yang orientasinya menghadap ke arah Utara, urutan berikutnya adalah yang menghadap ke arah Barat

Kata kunci: intensitas sinar matahari, solar-sel, kemiringan 30° , tegangan, arus, VA

Latar Belakang

Konservasi energi sebenarnya bukanlah merupakan kriteria baru dalam disain arsitektur. Konteks keberadaan suatu bangunan selalu ditentukan oleh batasan iklim dan material bangunan. Sepanjang sejarah , iklim, energi, dan kebutuhan kebutuhan sumber daya merupakan hal fundamental dalam seni dan tatanan arsitektur. Bahkan dalam kondisi iklim yang ekstrim sekalipun tidak menghalangi para perancangannya untuk menghadirkan karya arsitektur anggun sebagai solusi atas permasalahan lingkungan. Walaupun kesadaran tentang keterbatasan sumberdaya

alam dan keterbatasan energi sudah dimulai sejak tahun 1973 (Altore, 2002).

Saat ini listrik nampaknya sudah menjadi kebutuhan yang sangat diandalkan masyarakat perkotaan, terutama karena hampir semua pekerjaan menggunakan tenaga listrik. Bila terjadi pemadaman listrik maka pekerjaan akan terhenti. Khususnya di Indonesia, paradigma penyediaan listrik baru dilihat dari sudut pandang ekonominya saja, belum melihat dari sudut pandang ekologi, padahal, penggunaan listrik di Indonesia jika dilihat dari *CO₂ footprint*-nya menyumbang terjadinya efek rumah kaca yang pada akhirnya mengakibatkan pemanasan global dan terjadinya perubahan iklim. Padahal

Indonesia yang terletak di daerah khatulistiwa merupakan letak yang strategis karena potensi sinar matahari yang tersedia sepanjang tahun dengan intensitas yang relatif tinggi.

Potensi sinar matahari ini merupakan sumber energi ramah lingkungan, akan tetapi belum banyak dimanfaatkan. Pada hakekatnya sinar matahari merupakan sumber energi yang paling murah dan terbarukan (*renewable*). Pemanfaatan sel surya (*solar cell*) merupakan suatu teknologi yang dapat menghasilkan energi listrik yang bersumber dari sinar matahari.

Pemanfaatan solar sel ini, pertama paling tidak dapat membantu sementara pada saat listrik padam, khususnya untuk pekerjaan yang mengandalkan energi listrik, misalnya komputer (yang banyak digunakan dalam melakukan pekerjaan) sehingga pekerjaan tetap dapat dilakukan walaupun terjadi pemadaman listrik. Kedua, pemanfaatan solar sel ini merupakan sumber energi listrik alternatif yang terbarukan, tidak mengeluarkan emisi, dan tentunya ramah lingkungan.

Agar fungsi solar sel ini dapat maksimal dalam mengasilkan listrik, maka posisi orientasi dan kemiringan menjadi variabel pokok. Hal ini tentunya berkaitan dengan penempatan elemen solar sel tersebut pada bangunan. Oleh karena itu penting untuk dilakukan penelitian tentang "posisi orientasi untuk kemiringan panel solar sel 30° sesuai kemiringan atap di Indonesia pada umumnya" ini agar dalam penempatan dan perancangannya pada selimut bangunan dapat serasi dan sesuai dengan kaidah arsitektur, akan tetapi tetap efektif menghasilkan energi listrik.

Materi.

Energi Surya Sebagai Energi Alternatif

Bay, Joo-Hwa and Boon Lay Ong, (2006), mengatakan bahwa, dewasa ini masalah energi terutama energi fosil tampaknya menjadi problematika utama terkait dengan munculnya isu global warming dan climate changes. Energi alternatif yang ramah lingkungan sebagai pengganti

energi fosil akan bertambah ramai dibicarakan.

Ada beberapa sumber energi alternatif yang bersumber dari energi alam yang ramah lingkungan dan persediaannya tidak terbatas, seperti diantaranya adalah energi surya, angin, gelombang dan perbedaan suhu air laut. Dengan meningkatnya kebutuhan energi yang semakin besar, penggunaan sumber energi listrik dari sumber energi *hybrid* (beragam) merupakan pilihan yang tidak dapat dihindari lagi (Disc, Rolf, 2007).

Oleh karena itu kajian tentang energi listrik alternatif yang bersumber dari energi surya bukan merupakan hal yang sia-sia. Terlebih di kota Semarang yang terletak di daerah khatulistiwa dengan potensi pancaran energi matahari terjadi sepanjang tahun, salah satunya adalah pemanfaatan energi surya melalui proses fotofoltaik menggunakan sel surya.

Energi surya (energi matahari) adalah energi yang berupa sinar dan panas yang bersumber dari matahari. Energi Surya dapat dimanfaatkan pada berbagai tingkatan di seluruh dunia, yang utamanya bergantung pada jarak dari khatulistiwa. Energi ini dapat dimanfaatkan dengan menggunakan serangkaian teknologi seperti pemanas surya, fotovoltaiik surya, listrik termal surya, arsitektur surya, dan fotosintesis buatan (Hashida, Shoko & Jose Martin Gomez Tagle Morales, 2005).

Smith, Peter F. (2005), mengungkapkan bahwa jumlah energi surya yang mencapai permukaan planet Bumi dalam waktu satu tahun sangatlah besar. Jumlah ini diperkirakan dua kali lebih banyak dibandingkan dengan semua sumber daya alam Bumi yang tidak terbarukan yang bisa diperoleh digabungkan, seperti batubara, minyak bumi, gas alam, dan uranium.

Disisi lain, Vilka, Dagne, (2010) dan 2006, Gomes, Alexandre, et al. (2006), mengungkapkan bahwa kebutuhan konsumsi energi (listrik) suatu bangunan relatif besar, yang pada umumnya dipenuhi oleh energi yang berasal dari energi fosil yang pada saat ini sudah mulai terjadi krisis, serta akibat yang ditimbulkan oleh energi fosil ini

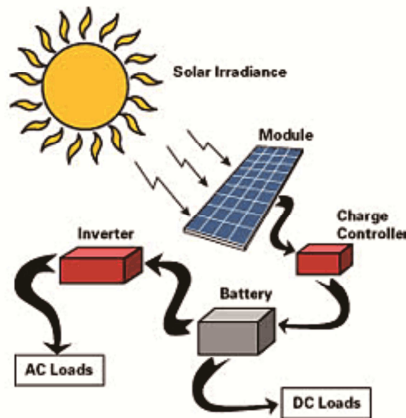
menyumbang secara signifikan terjadinya pemanasan global. Oleh karena itu penggunaan energi alternatif yang ramah lingkungan dan bersumber dari energi terbarukan mendesak untuk segera dikembangkan. Di daerah tropis, energi matahari merupakan potensi yang sangat besar, oleh karena itu pemanfaatan energi matahari ini untuk memenuhi sebagian kebutuhan energi listrik bangunan dapat dilakukan dengan teknologi solar surya. Konsep untuk memanfaatkan energi alam terbarukan (termasuk energi matahari) untuk memenuhi sebahagian kebutuhan energi listrik dalam bangunan ini dikenal dengan konsep "desain aktif". Teknologi aktif meliputi penggunaan panel fotovoltaik, pompa, dan kipas untuk mengubah energi surya ke bentuk yang berguna. Teknologi aktif meningkatkan persediaan listrik dan disebut sebagai teknologi sisi suplai, sedangkan teknologi pasif mengurangi kebutuhan sumber daya alam lain dan disebut sebagai teknologi sisi permintaan

Basnet, Arjun (2012), mengungkapkan bahwa pada tahun 2011, Badan Energi Internasional menyatakan bahwa "perkembangan teknologi energi surya yang tidak akan habis habis dan terjangkau, akan memberikan keuntungan jangka panjang yang besar. Perkembangan ini akan meningkatkan keamanan energi negara-negara melalui pemanfaatan sumber energi yang sudah ada, tidak habis, dan tidak tergantung pada impor, meningkatkan kesinambungan, mengurangi polusi, mengurangi biaya mitigasi perubahan iklim, dan menjaga harga bahan bakar fosil tetap rendah dari sebelumnya. Keuntungan-keuntungan ini berlaku global. Oleh sebab itu, biaya insentif tambahan untuk pengembangan awal selayaknya dianggap sebagai investasi untuk pembelajaran; inventasi ini harus digunakan secara bijak dan perlu dibagi bersama."

Penerapan teknologi surya

Hageman, Ingo B (2005), mengatakan bahwa energi surya umumnya merujuk pada penggunaan radiasi surya yang merupakan energi primer untuk kebutuhan praktis. Sel surya, atau sel fotovoltaik, adalah peralatan yang mengubah cahaya menjadi aliran listrik dengan menggunakan efek fotovoltaik. Sel fotovoltaik pertama dibuat oleh Charles Fritts pada tahun 1880an. Pada tahun 1931, seorang insinyur Jerman, Dr. Bruno Lange, membuat sel fotovoltaik menggunakan perak selenida ketimbang tembaga oksida. Walaupun sel selenium purwa rupa ini mengubah kurang dari 1% cahaya yang masuk menjadi listrik, Ernst Werner von Siemens dan James Clerk Maxwell melihat pentingnya penemuan ini. Dengan mengikuti kerja Russel Ohl pada tahun 1940an, peneliti Gerald Pearson, Calvin Fuller, dan Daryl Chapin membuat sel surya silikon pada tahun 1954. Biaya sel surya ini 286 dollar AS per watt dan mencapai efisiensi 4,5 - 6 %. Pada saat ini, efisiensi yang tersedia melebihi 20% dan efisiensi maksimum fotovoltaik penelitian melebihi 40%.

Selanjutnya Lundgren, Marja dan Torstensson, Kjell (2004), mengatakan bahwa, bila sel surya itu dikenakan pada sinar matahari, maka timbul yang dinamakan elektron dan hole. Elektron-elektron dan hole-hole yang timbul di sekitar pn junction bergerak berturut-turut ke arah lapisan n dan ke arah lapisan p. Sehingga pada saat elektron-elektron dan hole-hole itu melintasi pn junction, timbul beda potensial pada kedua ujung sel surya. Jika pada kedua ujung sel surya diberi beban maka timbul arus listrik yang mengalir melalui beban. Bahan dan cara kerja yang aman terhadap lingkungan menjadikan sel surya sebagai salah satu hasil teknologi pembangkit listrik yang efisien bagi sumber energi alternatif masyarakat di masa depan.



Gambar 01: Penerapan teknologi sel surya.
 Sumber: Lundgren, Marja dan Torstensson, Kjell (2004)

Diskusi/Pembahasan.

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif, sedangkan fariabel yang dipelajari meliputi:

- a) Variabel pengaruh/variabel bebas (iv): intensitas radiasi matahari;
- b) Variabel terpengaruh/variabelterikat (dV): out-put energi listrik yang dihasilkan meliputi tegangan (V), arus (I), dan daya VA;
- c) Variabel kontrol: posisi orientasi kemiringan panel sel surya dalam kasis ini diambil kemiringan atap pada umumnya sebesar 30°.

Pengukuran intensitas sinar matahari diukur setiap jam, dengan acuan pada waktu tengah hari sebenarnya di kota Semarang. Adapun penentuan waktu tengah hari sebenarnya di kota Semarang dapat dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut:

Rotasi bumi 360° selama 24 jam, berarti selama 1 jam bumi berotasi 15°. Dengan demikian maka untuk rotasi bumi sebesar 1°, membutuhkan waktu 4 menit.

Kota Semarang termasuk dalam wilayah pembagian waktu WIB, yaitu GMT + 7 jam, atau GMT + 420 menit = 420/4 = 105° BT. (Gambar 02)

Penentuan waktu Pengukuran



Gambar 02: Wilayah Pembagian Waktu di Indonesia
 sumber: diolah dari Kepres No.41 tahun 1987

Sedangkan letak astronomis kota Semarang berada di sekitar 110° BT, ini berarti 110°-105° = 5° atau 5x4 menit = 20 menit lebih awal. Sehingga dapat diketahui waktu tengah hari sebenarnya di kota Semarang adalah 20 menit lebih awal, atau jam 11.40.

Untuk itu maka, pengukuran intensitas sinar matahari setiap jam, yaitu pada jam:

7.40; 8.40; 9.40; 10.40; 11.40; 12.40; 13.40; 14.40; 15.40; 16.40; dan 17.40.

Karena pengukuran intensitas sinar matahari ini terkait dengan pengukuran tegangan dan arus yang dihasilkan solar-cell, dan pengukuran ini dilakukan pada delapan orientasi yang nantinya akan diperbandingkan, sedangkan pengukuran dilakukan untuk setiap

orientasi, maka pengukuran ini dilakukan pada delapan hari yaitu:

- Posisi kemiringan solar-sel 30° , orientasi menghadap Utara pengukuran dilakukan pada tanggal 16-6-2014
- Posisi kemiringan solar-sel 30° , orientasi menghadap Timur-Laut pengukuran dilakukan pada tanggal 16-6-2014
- Posisi kemiringan solar-sel 30° , orientasi menghadap Timur pengukuran dilakukan pada tanggal 16-6-2014
- Posisi kemiringan solar-sel 30° , orientasi menghadap Tenggara pengukuran dilakukan pada tanggal 16-6-2014
- Posisi kemiringan solar-sel 30° , orientasi menghadap Selatan pengukuran dilakukan pada tanggal 16-6-2014

- Posisi kemiringan solar-sel 30° , orientasi menghadap Barat-Daya pengukuran dilakukan pada tanggal 16-6-2014
- Posisi kemiringan solar-sel 30° , orientasi menghadap Barat pengukuran dilakukan pada tanggal 16-6-2014
- Posisi kemiringan solar-sel 30° , orientasi menghadap Barat-Laut pengukuran dilakukan pada tanggal 16-6-2014

Hasil Penelitian

Intensitas Sinar Matahari

Hasil pengukuran intensitas sinar matahari pada delapan hari dan 11 jam pengukuran mulai dari jam 8.40 sampai dengan jam 17.40, dapat dilihat seperti Tabel 01 berikut ini:

Tabel 01: Hasil Pengukuran Intensitas Sinar Matahari

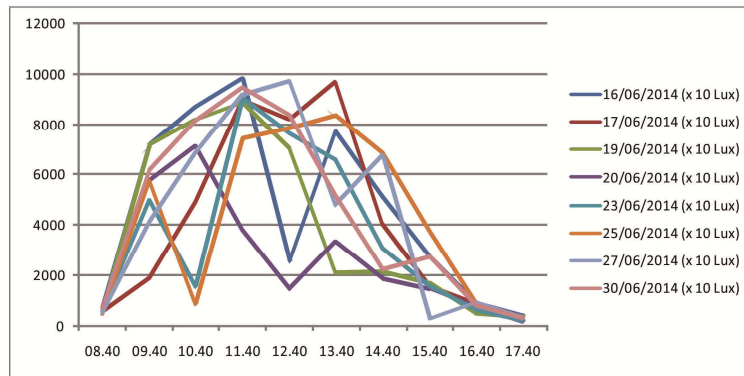
Waktu Pengukuran	16/06/2014 (x 10 Lux)	17/06/2014 (x 10 Lux)	19/06/2014 (x 10 Lux)	20/06/2014 (x 10 Lux)	23/06/2014 (x 10 Lux)	25/06/2014 (x 10 Lux)	27/06/2014 (x 10 Lux)	30/06/2014 (x 10 Lux)
08.40	774	524	583	762	582	468	478	698
09.40	7190	1876	7178	5760	4986	5789	4128	6170
10.40	8684	4882	8184	7145	1578	874	6878	8118
11.40	9827	8975	8882	3816	9046	7462	9174	9464
12.40	2567	8160	7063	1462	7652	7882	9740	8368
13.40	7747	9685	2125	3335	6562	8376	4776	5178
14.40	5120	4027	2158	1875	3070	6884	6787	2226
15.40	2745	1558	1676	1459	1553	3745	268	2760
16.40	953	874	487	762	679	917	907	837
17.40	438	268	364	198	247	332	332	324

Sumber: hasil pengukuran

Hasil pengukuran intensitas sinar matahari tidak selalu berbanging lurus dengan posisi matahari, akan tetapi fluktuatif, hal ini dipengaruhi oleh cuaca terutama awan. Seperti terlihat dalam tabel, misalnya hasil pengukuran pada tanggal 20-6-2014, pada jam 11.40 intensitas sinar matahari menunjukkan 3816x10 lux, pada jam 12.40 turun menjadi 1462x10 lux dan naik lagi pada jam 13.40 menjadi 3335x10lux. Pada tanggal 16-6-2014,

pada jam 11.40 intensitas sinar matahari menunjukkan 9827x10 lux, pada jam 12.40 turun menjadi 2567x10 lux dan naik lagi pada jam 13.40 menjadi 7747x10lux. Fluktuasi intensitas sinar matahari ini terjadi karena sinar matahari terkadang terhalangi oleh awan.

Untuk lebih jelasnya, grafik pada Gambar-04, memperlihatkan fluktuasi intensitas sinar matahari yang terjadi pada delapan (8) hari pengukuran.



Gambar 03: Fluktuasi Intensitas Sinar Matahari

sumber: hasil pengukuran

Intensitas Sinar Matahari dan Tegangan

Hasil pengukuran tegangan dengan volt meter menunjukkan bahwa (Tabel 2), pada umumnya semakin tinggi intensitas sinar matahari akan semakin tinggi pula tegangan yang dihasilkan. Hasil pengukuran ke delapan orientasi hadap solar sel dapat dilihat seperti ditunjukkan oleh Tabel 2.

Jika dilihat dari jumlah 10 waktu pengukuran intensitas sinar matahari harian menunjukkan bahwa, intensitas sinar matahari tertinggi jatuh pada tanggal 16-06-2014 pada

saat pengukuran kemiringan solar-sel 30° menghadap ke Utara yaitu sebesar 459.850 lux dengan jumlah tegangan yang dihasilkan sebesar 105,06 Volt.

Sedangkan jika dilihat dari jumlah 10 waktu pengukuran tegangan sehari, menunjukkan bahwa, jumlah tegangan tertinggi terjadi pada orientasi solar-sel menghadap Barat-Laut pada tanggal 30-06-2014, mencapai 122,9 volt, dengan intensitas sinar matahari sebesar 440,46 x1000 lux

Tabel 2: Intensitas Sinar matahari dan Tegangan

Waktu Pengukuran	Utara-16/06/2014		Timur laut-17/06/2014		Timur-19/06/2014		Tenggara-20/06/2014	
	Intensitas Sinar Mt.Hari (x1000 Lux)	Tegangan (Volt)	Intensitas Sinar Mt.Hari (x1000 Lux)	Tegangan (Volt)	Intensitas Sinar Mt.Hari (x1000 Lux)	Tegangan (Volt)	Intensitas Sinar Mt.Hari (x1000 Lux)	Tegangan (Volt)
08.40	3,78	1,09	3,71	1,07	3,74	1,08	3,70	5,86
09.40	7,74	1,62	5,24	1,10	5,83	1,22	7,62	11,01
10.40	71,9	10,69	18,76	2,79	71,78	10,19	57,60	15,41
11.40	86,84	18,24	48,82	15,14	81,84	17,39	71,45	17,69
12.40	98,27	18,67	89,75	17,06	88,82	19,41	38,16	11,02
13.40	25,67	13,34	81,60	17,92	70,63	10,91	14,62	3,06
14.40	77,47	18,01	96,85	18,64	21,25	12,06	33,35	17,33
15.40	51,2	15,75	40,27	10,41	21,58	12,25	18,75	13,73
16.40	27,45	4,35	15,58	6,94	16,76	2,49	14,59	2,17
17.40	9,53	3,28	8,74	4,96	4,87	4,43	7,62	6,93
Jumlah	459,85	105,06	409,32	96,02	387,10	91,43	267,46	104,23

Waktu Pengukuran	Selatan-23/06/2014		Barat-Daya-25/06/2014		Barat-27/06/2014		Barat-Laut-30/06/2014	
	Intensitas Sinar Mt.Hari (x1000 Lux)	Tegangan (Volt)	Intensitas Sinar Mt.Hari (x1000 Lux)	Tegangan (Volt)	Intensitas Sinar Mt.Hari (x1000 Lux)	Tegangan (Volt)	Intensitas Sinar Mt.Hari (x1000 Lux)	Tegangan (Volt)
08.40	2,78	8,03	1,78	0,34	3,12	9,01	2,27	4,29
09.40	5,82	1,22	4,68	2,43	4,78	1,00	6,98	8,44
10.40	49,86	7,41	57,89	8,61	41,28	10,27	61,70	9,18
11.40	15,78	14,36	8,74	7,95	68,78	14,45	81,18	17,13
12.40	90,46	17,19	74,62	16,33	91,74	19,44	94,64	17,98
13.40	76,52	16,80	78,82	16,50	97,40	18,47	83,68	17,71
14.40	65,62	14,60	83,76	19,47	47,76	11,10	51,78	17,77
15.40	30,70	14,36	68,84	11,54	67,87	18,16	22,26	14,86
16.40	15,53	11,78	37,45	5,94	2,68	4,25	27,60	10,37
17.40	6,79	3,49	9,17	4,08	9,07	11,29	8,37	4,56
Jumlah	359,86	109,25	425,75	93,19	434,48	117,44	440,46	122,29

Sumber: hasil pengukuran

Intensitas Sinar Matahari dan Arus

Tabel 3 diatas merupakan hasil pengukuran arus dengan amper meter menunjukkan bahwa, pada umumnya semakin tinggi intensitas sinar matahari akan semakin

tinggi pula arus listrik yang dihasilkan. Hasil pengukuran ke delapan orientasi hadap solar sel dapat dilihat seperti ditunjukkan oleh Tabel 2 ini.

Tabel 3: Intensitas Sinar matahari dan Tegangan

Waktu Pengukuran	Utara-16/06/2014		Timur Laut-17/06/2014		Timur-19/06/2014		Tenggara-20/06/2014	
	Intensitas Sinar Mt.Hari (x1000 Lux)	Arus (Amper)	Intensitas Sinar Mt.Hari (x1000 Lux)	Arus (Amper)	Intensitas Sinar Mt.Hari (x1000 Lux)	Arus (Amper)	Intensitas Sinar Mt.Hari (x1000 Lux)	Arus (Amper)
08.40	3,78	0,06	3,71	0,10	3,74	0,10	3,70	0,10
09.40	7,74	0,36	5,24	0,24	5,83	0,27	7,62	0,35
10.40	71,9	2,67	18,76	0,70	71,78	2,66	57,60	2,14
11.40	86,84	3,65	48,82	0,20	81,84	3,44	71,45	3,00
12.40	98,27	2,91	89,75	2,66	88,82	2,63	38,16	1,13
13.40	25,67	0,89	81,60	0,28	70,63	2,46	14,62	0,51
14.40	77,47	2,87	96,85	3,59	21,25	0,79	33,35	1,24
15.40	51,2	1,14	40,27	0,89	21,58	0,48	18,75	0,42
16.40	27,45	1,12	15,58	0,64	16,76	0,68	14,59	0,60
17.40	9,53	0,41	8,74	0,37	4,87	0,21	7,62	0,33
Jumlah	459,85	16,08	409,32	9,68	387,10	13,73	267,46	9,81

Waktu Pengukuran	Selatan-23/06/2014		Barat-Daya-25/06/2014		Barat-27/06/2014		Barat-Laut-30/06/2014	
	Intensitas Sinar Mt.Hari (x1000 Lux)	Arus (Amper)	Intensitas Sinar Mt.Hari (x1000 Lux)	Arus (Amper)	Intensitas Sinar Mt.Hari (x1000 Lux)	Arus (Amper)	Intensitas Sinar Mt.Hari (x1000 Lux)	Arus (Amper)
08.40	2,78	0,05	1,78	0,03	3,12	0,06	2,27	0,28
09.40	5,82	0,27	4,68	0,22	4,78	0,22	6,98	2,00
10.40	49,86	1,85	57,89	2,15	41,28	1,53	61,70	2,20
11.40	15,78	0,66	8,74	0,37	68,78	2,89	81,18	2,47
12.40	90,46	2,68	74,62	2,21	91,74	2,72	94,64	1,98
13.40	76,52	2,67	78,82	2,75	97,40	3,40	83,68	2,21
14.40	65,62	2,43	83,76	3,11	47,76	1,77	51,78	0,89
15.40	30,70	0,68	68,84	1,53	67,87	1,51	22,26	0,81
16.40	15,53	0,63	37,45	1,53	2,68	0,11	27,60	0,34
17.40	6,79	0,29	9,17	0,39	9,07	0,39	8,37	0,13
Jumlah	359,86	12,22	425,75	14,28	434,48	14,59	440,46	13,32

Sumber: hasil pengukuran

Jika dilihat dalam jumlah 10 waktu pengukuran intensitas sinar matahari harian menunjukkan bahwa, intensitas sinar matahari teringgi jatuh pada tanggal 16-06-2014 pada saat pengukuran kemiringan solar-sel 30° menghadap ke Utara yaitu sebesar 459.850 lux dengan jumlah Arus yang dihasilkan sebesar 16,08 Amper.

Sedangkan jika dilihat dari jumlah 10 waktu pengukuran arus listrik sehari, menunjukkan bahwa, jumlah arus tertinggi terjadi pada orientasi solar-sel yang sama yaitu pengukuran pada tanggal 30-06-2014, menghadap Utara. Ini menunjukkan Intensitas sinar matahari sebanding dengan arus yang dihasilkan.

Tegangan, Arus, dan Daya VA

Tabel 4 memperlihatkan hasil pengukuran tegangan, arus, dan hasil perhitungan Daya VA, untuk 10 waktu selama sehari pada semua orientasi solar-sel dengan kemiringan 30° dapat dilihat pada Tabel 4 ini. Daya tertinggi terjadi pada solar-sel menghadap Utara sebesar 237,88 VA. Sedangkat jika dilihat dari jumlah tegangan tertinggi dari 10 waktu pengukuran sehari adalah solar-sel menghadap Barat Laut yaitu sebesar 122,29 volt; dan arus tertinggi adalah solar-sel menghadap Utara yaitu sebesar 16,08 amper.

Tabel 4: Tegangan, Arus, dan Daya (VA)

Waktu Pengukuran	Utara-16/06/2014			Timur Laut-17/06/2014			Timur-19/06/2014			Tenggara-20/06/2014		
	(Volt)	(Amper)	(VA)	(Volt)	(Amper)	(VA)	(Volt)	(Amper)	(VA)	(Volt)	(Amper)	(VA)
08.40	1,09	0,06	0,07	1,07	0,10	0,11	1,08	0,10	0,11	5,86	0,10	0,59
09.40	1,62	0,36	0,58	1,10	0,24	0,27	1,22	0,27	0,33	11,01	0,35	3,89
10.40	10,69	2,67	28,54	2,79	0,70	1,94	10,19	2,66	27,16	15,41	2,14	32,96
11.40	18,24	3,65	66,51	15,14	0,20	3,10	17,39	3,44	59,75	17,69	3,00	53,07
12.40	18,67	2,91	54,36	17,06	2,66	45,34	19,41	2,63	51,06	11,02	1,13	12,46
13.40	13,34	0,89	11,93	17,92	0,28	5,10	10,91	2,46	26,86	3,06	0,51	1,56
14.40	18,01	2,87	51,74	18,64	3,59	66,95	12,06	0,79	9,50	17,33	1,24	21,43
15.40	15,75	1,14	17,92	10,41	0,89	9,32	12,25	0,48	5,87	13,73	0,42	5,72
16.40	4,35	1,12	4,88	6,94	0,64	4,41	2,49	0,68	1,71	2,17	0,60	1,29
17.40	3,28	0,41	1,34	4,96	0,37	1,85	4,43	0,21	0,92	6,93	0,33	2,26
Jumlah	105,06	16,08	237,88	96,02	9,68	138,39	91,43	13,73	183,26	104,23	9,81	135,24

Waktu Pengukuran	Selatan-23/06/2014			Barat-Daya-25/06/2014			Barat-27/06/2014			Barat-Laut-30/06/2014		
	(Volt)	(Amper)	(VA)	(Volt)	(Amper)	(VA)	(Volt)	(Amper)	(VA)	(Volt)	(Amper)	(VA)
08.40	8,03	0,05	0,38	0,34	0,03	0,01	9,01	0,06	0,54	4,29	0,28	1,21
09.40	1,22	0,27	0,33	2,43	0,22	0,53	1,00	0,22	0,22	8,44	2,00	16,88
10.40	7,41	1,85	13,73	8,61	2,15	18,50	10,27	1,53	15,73	9,18	2,20	20,20
11.40	14,36	0,66	9,51	7,95	0,37	2,92	14,45	2,89	41,72	17,13	2,47	42,27
12.40	17,19	2,68	46,06	16,33	2,21	36,10	19,44	2,72	52,83	17,98	1,98	35,70
13.40	16,80	2,67	44,82	16,50	2,75	45,34	18,47	3,40	62,69	17,71	2,21	39,21
14.40	14,60	2,43	35,52	19,47	3,11	60,48	11,10	1,77	19,66	17,77	0,89	15,87
15.40	14,36	0,68	9,79	11,54	1,53	17,65	18,16	1,51	27,40	14,86	0,81	11,96
16.40	11,78	0,63	7,47	5,94	1,53	9,08	4,25	0,11	0,47	10,37	0,34	3,56
17.40	3,49	0,29	1,01	4,08	0,39	1,60	11,29	0,39	4,38	4,56	0,13	0,61
Jumlah	109,25	12,22	168,64	93,19	14,28	192,21	117,44	14,59	225,64	122,29	13,32	187,47

Sumber: hasil pengukuran

Kesimpulan

Dari kajian hasil penelitian yang telah diungkapkan diatas, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Intensitas sinar matahari sangat fluktuatif walaupun penelitian dilakukan pada bulan Juli, saat puncak musim panas. Hal ini berpengaruh langsung pada pemanfaatan solar-sel, karena sinar matahari merupakan sumber utama solar-sel.
- Tegangan yang dihasilkan solar-sel, tidak selalu berbanding lurus dengan intensitas sinar matahari.
- Untuk kemiringan solar-sel 30°, sesuai kemiringan atap pada umumnya, solar-sel secara efektif menghasilkan tegangan untuk orientasi solar-sel yang menghadap ke arah Barat-Laut, urutan berikutnya adalah yang orientasinya menghadap Barat
- Arus yang dihasilkan solar-sel juga tidak selalu sama dengan fluktuasi intensitas sinar matahari maupun tegangan yang dihasilkannya.
- Untuk kemiringan solar-sel 30°, sesuai kemiringan atap pada umumnya, solar-sel secara efektif menghasilkan arus untuk orientasi solar-sel yang

menghadap ke arah Utara, urutan berikutnya adalah yang orientasinya menghadap ke arah Barat.

- Daya semu (VA) yang dihasilkan solar-sel dengan kemiringan 30°, secara efektif adalah yang orientasinya menghadap ke arah Utara, urutan berikutnya adalah yang menghadap ke arah Barat

Ucapan Terima Kasih

Atas tersusunnya tulisan ini saya mengucapkan terima kasih, kepada Jurusan Arsitektur, Fakultas Teknik Undip, Kepada Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) melalui Ibu Umirusyana Wati yang telah menyumbang satu unit Solar-Sel termasuk inverter dan baterainya, yang dimaksudkan untuk materi penelitian di Jurusan Arsitektur Undip.

Daftar Pustaka

- Altore, Ramiro, 2002, *Tropical Design*, Riviera Maya, Mexico.
- Balcomb, J. Douglas (2000), *Passive Solar Design Strategies*, Passive Solar Industries Council, National Renewable Energy Laboratory, Minot. North Dakota.
- Basnet, Arjun, 2012, *Architectural Integration of Photovoltaic and Solar Thermal*

- Collector Systems into buildings*,
Master's Thesis in Sustainable
Architecture June 2012, Norwegian
University of Science and Technology
Faculty of Architecture and Fine Arts
Department of Architectural Design,
History and Technology, Trondheim
- Bay, Joo-Hwa and Boon Lay Ong, 2006, *Tropical Sustainable Architecture, Social and Environmental Dimensions*, Published by Elsevier Ltd. All rights reserved.
- Cristina, Maria Munari P, 2008, *Architectural Integration And Design Of Solar Thermal System*, Selected sections from PhD thesis 4258, EPFL 2008
- Disc, Rolf, 2007, *Solar Architecture*, Solarsiedlung GmbH Sonnenschiff Merzhauser, Freiburg Germany
- Gomes, Alexandre de Oliveira, Haroldo Maranhão B. C. Britto, Sileno Cirne Trindade, Renata Gabriela de Matos, Pollyana de Faria Rangel, Leonardo J. B. de F. Cunha and Aldomar Pedrini, 2006, *An energy efficient office building in a tropical climate*, PLEA2006 - The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland
- Groat, Linda & Wang, David, 2002, *Architectural Research Methods*, John Wiley & Sons, Canada.
- Hageman, Ingo B, 2005, *Solar Design In Architecture and Urban Planning*, JSPS Symposium "Urban Planning and Sustainable Cities, Tokyo-Japan
- Hashida, Shoko & Jose Martin Gomez Tagle Morales, 2005, *Sustainable Building Design - The 2005 World Sustainable Building Conference*, SB05 Building Sustainable Future, Tokyo.
- Lundgren, Marja and Kjell Torstensson, 2004, *Photovoltaics in architecture*, ARQ, Stiftelsen för arkitektforskning, Germany
- Robertson, Keith and Andreas Athienitis, 2005, *Solar Energy for Building*, Canada Mortgage and Housing Corporation, Canada.
- Smestad, Greg P., 2005, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Architectural Press An imprint of Elsevier Linacre House, Jordan Hill, Oxford
- Smith, Peter F, 2005, *Architecture in a Climate of Change*, Architectural Press An imprint of Elsevier Linacre House, Jordan Hill, Oxford
- Vilka, Dagne, 2010, *Active Use of Solar Energy in Buildings*, Architectural Technology and Construction Management, University College-Campus Horsens, Horsens
- Wan, Nik W.B.; M.Z. Ibrahim; K.B. Samo; A.M. Muzathik, 2012, *Monthly mean hourly global solar radiation estimation*, Architectural Press An imprint of Elsevier Linacre House, Jordan Hill, Oxford.

