

DAMPAK DEBU TERHADAP KINERJA MODUL PHOTOVOLTAIK DI KAMPUS POLITEKNIK NEGERI KUPANG

Ambrosius Alexander Tino

Abstrak :

Penurunan kinerja PV dapat diakibatkan oleh faktor yang sementara (temporary factor) seperti deposisi/penumpukan debu pada kaca PV modul. Mengetahui kinerja PV modul, maka kurva arus, tegangan (I-V) dan daya, tegangan (P-V) dari modul - modul sebagai objek penelitian direkam menggunakan "prova" solar module analyzer. Ketidakcocokan kurva tersebut menunjukkan degradasi yang disebabkan oleh deposisi atau penumpukan debu pada permukaan setiap PV modul yang menghalangi radiasi matahari yang diterima oleh sel-sel PV modul. Perbedaan antara kurva ini diperkirakan akan meningkat dengan peningkatan akumulasi debu dipermukaan modul. Bayangan (shading) yang secara temporer diakibatkan oleh debu, mengakibatkan penurunan kinerja PV yang ditandai dengan cacat pada gambar karakteristik yang ditunjukkan pada (modul 2 dan 4) juga mengindikasikan bahwa telah terjadi beberapa kerusakan permanent pada PV modul. Beberapa bentuk degradasi yang berhasil dideteksi dari PV modul di PNK adalah perubahan warna (coloration), delaminasi (delamination), dan korosi (corrosion)

Kata Kunci : *PV modul, temporary factor, tegangan, sudut kemiringan, intensitas cahaya matahari.*

PENDAHULUAN

Energi matahari adalah sumber energi yang paling berlimpah di bumi yang dapat ditangkap dan diubah menjadi berbagai bentuk energi termasuk energi listrik. Dengan menggunakan photovoltaic (PV) modul yang dibangun dari beberapa campuran semikonduktor, radiasi matahari ditangkap dan diubah menjadi listrik arus searah.

Modul PV telah digunakan secara luas untuk menghasilkan listrik di beberapa daerah seperti sistem perumahan, industri / sistem komersial yang lebih besar, skala pembangkit listrik dan beberapa barang-barang konsumsi (EPIA 2014).

Energi yang dihasilkan oleh sebuah modul PV yang terpasang di luar ruangan (outdoor) adalah sangat tergantung pada bahan pembuat

PV dan intensitas cahaya matahari yang diterima (Mani and Pillai 2010). Energi tersebut akan menurun sebagai hasil dari beberapa penyebab yang umum seperti siklus termal (thermal cycling), penyerapan ultra-violet (ultra-violet absorption), hilangnya adhesi antar sel (loss of adhesion) dan masuknya air di dalam sel (moisture ingress) (Quintana, King et al. 2002). Selain faktor-faktor internal tersebut, salah satu faktor lingkungan yang secara signifikan mengurangi energi yang dihasilkan oleh modul PV adalah debu (Mani and Pillai 2010). Debu yang menumpuk pada kaca penutup PV modul mengurangi cahaya matahari (electromagnetic radiation) yang diterima oleh sel surya dengan cara menyerap (absorbing) maupun menghamburkannya (scattering) (Elminir, Ghitas et

al. 2006; Qasem, Betts et al. 2012; Appels, Lefevre et al. 2013).

Akumulasi debu pada permukaan PV modul adalah berbeda untuk setiap lokasi tergantung pada kondisi lingkungan yang terdiri dari suhu lingkungan dan kelembaban, curah hujan dan kecepatan angin (Sarver, Al-Qaraghuli et al. 2013). Oleh karena itu, penurunan kinerja PV yang disebabkan oleh debu tidak seragam di setiap daerah. (Adinoyi dan Kata 2013).

Selain lokasi, sudut kemiringan PV adalah Faktor lain yang juga mempengaruhi akumulasi debu, yang merupakan faktor utama untuk penurunan kemampuan transmisi matahari. Penurunan kinerja PV yang disebabkan oleh debu juga tergantung pada teknologi PV.

Photovoltaik Array di Politeknik Negeri Kupang adalah sebuah fasilitas energi terbarukan yang sudah terpasang sejak tahun 2006 yang menampilkan beberapa teknologi yang berbeda seperti mc-Si dan pc-Si. Seperti PV yang lain di lapangan, modul di PNK telah terekspos pada berbagai kondisi cuaca dan debu selama bertahun-tahun tanpa kegiatan pemeliharaan (pencucian) yang menyebabkan penurunan kinerja. Oleh karena itu maka akan dilakukan penelitian yang bertujuan untuk menyelidiki dampak dari debu terhadap kinerja modul PV di PNK yang telah terekspos terhadap debu dalam jangka waktu yang lama. Hasil penelitian diharapkan sebagai informasi untuk kegiatan pemeliharaan (yaitu pembersihan) yang dapat meningkatkan output daya dan memperpanjang umur modul PV.

METODE PENELITIAN

Metode yang umum diaplikasikan oleh para peneliti untuk memantau (*monitor*) dan menilai (*asses*) kinerja listrik PV modul adalah pemindaian kurva arus, tegangan (I-V) dan daya, tegangan (P-V) atau yang dikenal dengan current voltage (I-V) and power voltage (P-V) curve scanning (Carr dan Pryor, 2004; Gxashekaetal,2005; Ndiayeetal,2014).

Kurva ini mewakili nilai-nilai parameter listrik dari PV modul seperti maximum power

output (P_{max}), maximum output current (I_{max}), maximum output voltage (V_{max}), open circuit voltage (V_{oc}) and short circuit current (I_{sc}).

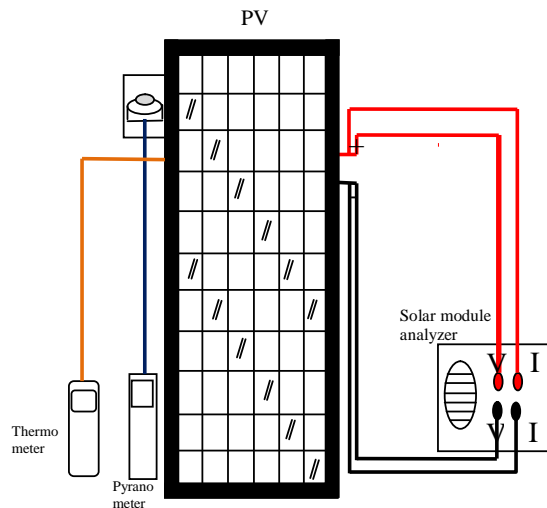
PV array yang terpasang di Politeknik Negeri Kupang yang merupakan objek dalam penelitian ini terbagi dalam 2 kelompok menurut teknologi PV modul seperti ditunjukkan pada gambar 1. Terdapat 48 buah modul berteknologi mono-crystalline silicon (mc-Si) yang terpasang di sisi Timur dan 18 buah modul polycrystalline silicon (pc-Si) di sisi Barat. Modul-modul tersebut terpasang pada rangka besi yang menghadap ke Utara dengan kemiringan sekitar 6° dan telah beroperasi sejak November 2006 tanpa prosedur pembersihan (*cleaning procedure*). Oleh karena P_{max} modul yang sama maka dalam penelitian ini telah dipilih secara acak masing-masing 5 PV modul yang mewakili teknologi mc-Si dan pc-Si.



Gambar 1. PV array di Politeknik Negeri Kupang

Kurva arus tegangan (I-V) dan daya tegangan (P-V) dari PV modul direkam menggunakan "Prova" solar modul analyzer dalam 2 kondisi yaitu pada saat berdebu dan setelah dibersihkan. Pada saat yang sama, suhu PV modul yang diukur pada bagian belakang modul dan intensitas cahaya matahari pada permukaan PV diukur dengan termometer

digital dan “Kipp dan Zonnen” pyranometer. Gambar pemasangan peralatan pengujian seperti ditunjukkan pada gambar 2.

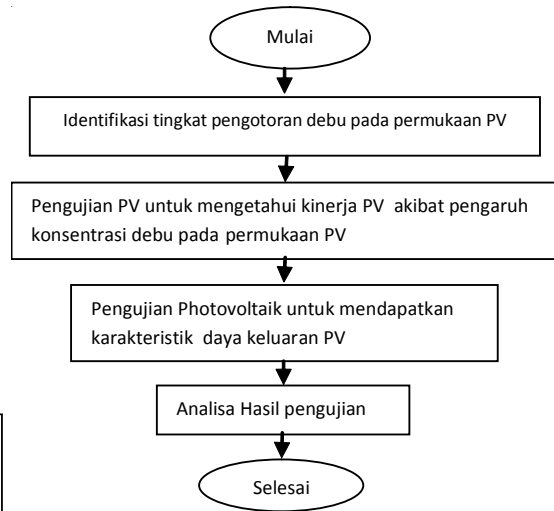


Gambar 2. Rangkaian I-V and P-V curves scanning

Pengukuran awalnya dilakukan pada PV modul yang berdebu kemudian PV modul tersebut dicuci dengan air bersih sebelum mengulangi proses pengukuran yang sama.

Penelitian dilakukan selama musim panas Tahun 2015 karena pada periode ini diperkirakan jumlah debu yang menempel pada PV modul sangat signifikan. Pengujian dilakukan pada siang hari tanpa awan untuk memenuhi batas ambang intensitas cahaya matahari yang direkomendasikan oleh IEC60891 tahun 2009 yaitu $700-1000W/m^2$.

Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kampus Politeknik Negeri Kupang.

Jalannya Penelitian

Langkah-langkah pelaksanaan penelitian ini sebagai berikut:

- ♦ Identifikasi tingkat pengotoran debu pada permukaan modul PV.
- ♦ Pengujian untuk mengetahui kinerja modul PV.
- ♦ Pengukuran dan pengujian untuk memperoleh karakteristik daya keluaran PV.

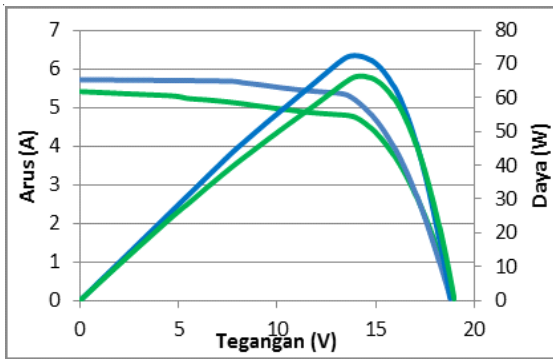
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penurunan kinerja PV modul dapat diakibatkan oleh faktor yang sementara (*temporary factor*) seperti deposisi/penumpukan debu pada kaca PV modul (Mani dan Pillai, 2010) serta beberapa faktor yang permanen antara lain delaminasi (*delamination*), gelembung (*bubbles*), retak disel (*cracks*), cacat pada *anti-reflective coating* dan sel yang terbakar (Munoz et al., 2011).

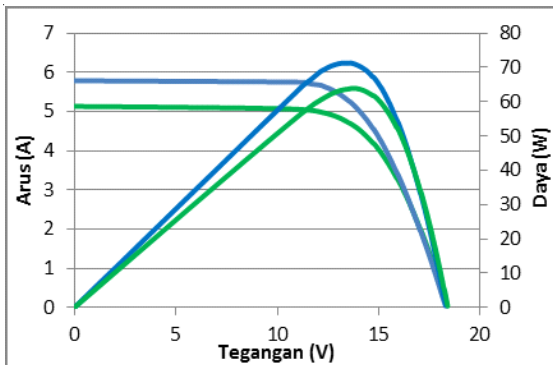
Sebelumnya dibahas bahwa untuk menilai penurunan kinerja maka kurva arus,

tegangan (I-V) dan daya, tegangan (P-V) dari modul-modul sebagai objek penelitian direkam menggunakan “Prova” solar module analyzer.

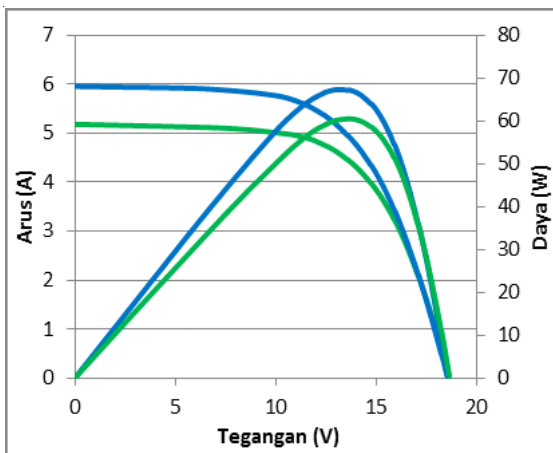
Gambar 4 menunjukkan hasil rekaman dari 10 PV modul, yang terdiri dari 5 modul mc-Si (gambar 4) dan 5 modul pc-Si (gambar 5) pada keadaan berdebu dan bersih.



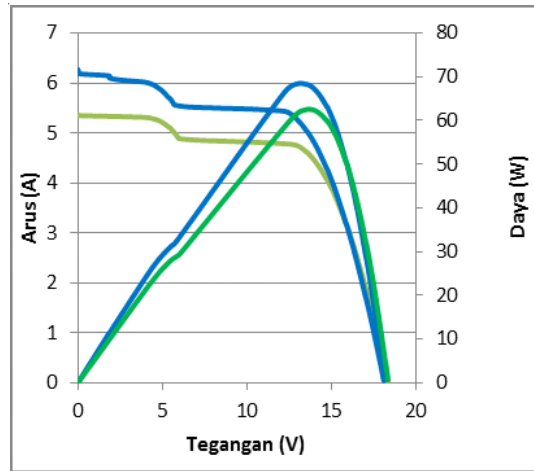
Karakteristik modul 1



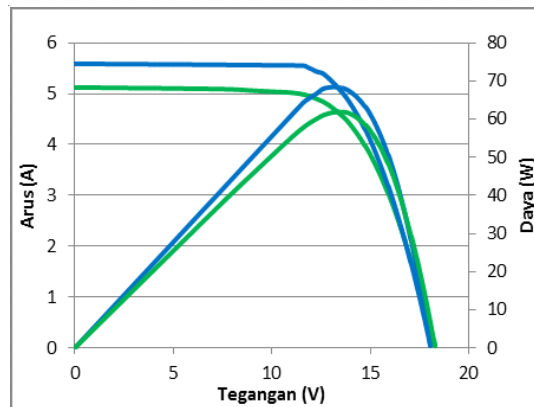
Karakteristik modul 2



Karakteristik modul. 3

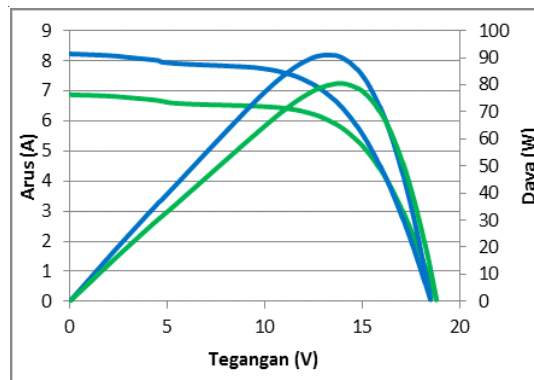


Karakteristik modul 4

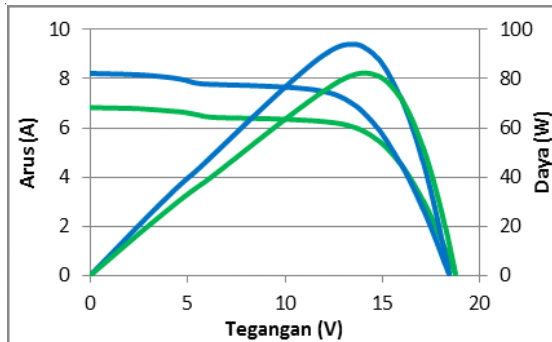


Karakteristik modul 5

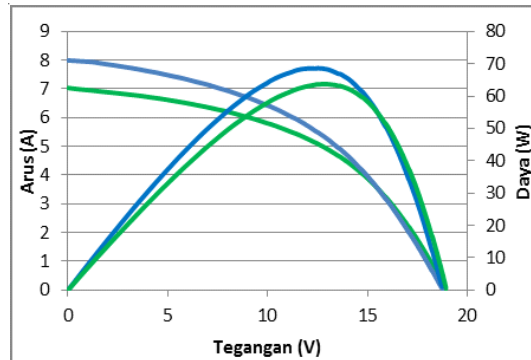
Gambar 4. Kurva karakteristik I-V dan P-V dari PV modul mc-Si bagian Timur



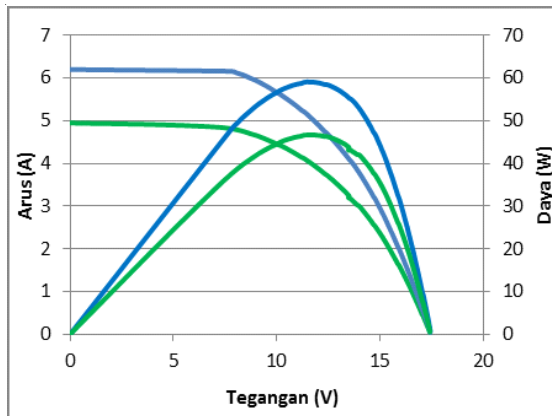
Karakteristik modul 1



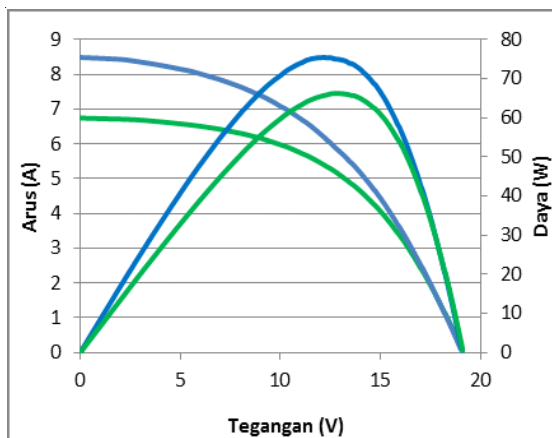
Karakteristik modul 2



Karakteristik modul 5



Karakteristik modul 3



Karakteristik modul 4

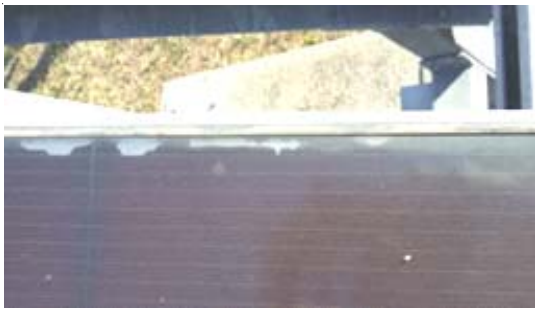
Gambar 5. Kurva karakteristik I-V dan P-V dari PV modul pc-Si bagian Barat

Hasil pada gambar 4 dan 5 menunjukkan nilai arus, tegangan dan daya yang lebih rendah dari semua PV modul dalam kondisi berdebu dibandingkan dengan kondisi bersih. Ketidakcocokan kurva tersebut menunjukkan degradasi yang disebabkan oleh deposisi atau penumpukan debu pada permukaan setiap PV modul yang menghalangi radiasi matahari yang diterima oleh sel-sel PV modul. Perbedaan antara kurva ini diperkirakan akan meningkat dengan peningkatan akumulasi debu di permukaan modul (Elminir dkk., 2006).

Selain disebabkan oleh bayangan (*shading*) yang secara temporer diakibatkan oleh debu, penurunan kinerja PV yang ditandai dengan cacat pada gambar karakteristik di atas (modul 2 dan 4) juga mengindikasikan bahwa telah terjadi beberapa kerusakan permanent pada PV modul. Beberapa bentuk degradasi yang berhasil dideteksi dari PV modul di PNK adalah perubahan warna (*coloration*), delaminasi (*delamination*), dan korosi (*corrosion*) seperti ditunjukkan pada gambar 6.



(a). Coloration



(b). Delamination



(c). Corrosion

Gambar 6. Permanen degradasi pada modul PV di PNK

Pengaruh debu pada nilai parameter listrik dari PV modul ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2. I_{SC} dan P_{max} adalah parameter yang terpengaruh secara signifikan oleh deposisi debu. Secara umum dapat dilihat bahwa teknologi mc-Si menunjukkan kinerja yang lebih baik yang dibuktikan dengan nilai perbedaan relative (*relative difference*) P_{max} antara kondisi bersih dan berdebu sekitar 8-10% dibandingkan dengan pc-Si yang berkisar 11-16% kecuali

modul 5 dengan nilai sebesar 7%. Sebaliknya nilai V_{oc} kurang sensitif terhadap pengaruh debu. Hasil ini mengkonfirmasi penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Ndiaye dkk. 2013) yang menemukan kecenderungan yang sama, di mana I_{SC} dan P_{max} output dari mc-Si dan modul pc-Si signifikan menurun karena deposisi debu, sedangkan perubahan V_{oc} dapat diabaikan.

Tabel 1. Data nilai parameter listrik PV modul sebelah Timur (mc-Si)

Mo- dule	Para- meter	Bersih	Debu	Rel. diff.
1	Voc	18.83	18.96	-0.69039
	Isc	5.719	5.413	5.350586
	Pmax	72.49	66.45	8.332184
2	Voc	18.32	18.37	-0.27293
	Isc	5.787	5.131	11.33575
	Pmax	71.31	63.88	10.4193
3	Voc	18.55	18.63	-0.43127
	Isc	5.953	5.179	13.00185
	Pmax	67.29	60.48	10.12037
4	Voc	18.14	18.36	-1.21279
	Isc	6.27	5.348	14.70494
	Pmax	68.48	62.59	8.601051
5	Voc	17.99	18.29	-1.66759
	Isc	5.589	5.124	8.319914
	Pmax	68.41	61.89	9.53077

Tabel 2. Data nilai parameter listrik modul PV sebelah Barat (pc-Si)

Module	Parameter	Bersih	Debu	Rel. diff.
1	Voc	18.5	18.8	-1.62162
	Isc	8.227	6.872	16.47016
	Pmax	91.03	80.52	11.54564
2	Voc	18.42	18.74	-1.73724
	Isc	8.217	6.83	16.87964
	Pmax	94.04	82.35	12.43088
3	Voc	17.39	17.42	-0.17251
	Isc	5.509	4.944	10.25594
	Pmax	56.19	46.66	16.96031
4	Voc	19.04	19.11	-0.36765
	Isc	8.485	6.742	20.54213
	Pmax	75.39	66.24	12.13689
5	Voc	18.74	18.94	-1.06724
	Isc	7.994	7.037	11.97148
	Pmax	68.66	63.73	7.180309

Data dan bahasan di atas menunjukkan bahwa selain *ageing factor*, energi yang dihasilkan oleh PV modul juga menurun sebagai konsekuensi dari deposisi debu pada permukaannya. Sebuah analisis sederhana dapat dilakukan untuk menilai efek dari debu pada energi listrik yang dihasilkan oleh PV modul. Dari table 2 dapat dilihat bahwa terjadi rugi daya (P_{max}) yang paling ekstrim akibat debu pada modul 3 yang berteknologi pc-Si yaitu sebesar 16.96% atau sekitar 10 watt. Dengan mengasumsikan bahwa Kupang menerima radiasi matahari rata-rata 1000 W/m^2 selama 5,3 jam setiap hari (5,3 peak sun hours per day), maka setidaknya 50 Wh listrik akan hilang setiap hari. Jika PV modul ini dibersihkan dan diaplikasikan untuk solar

home system (SHS), maka nilai rugi daya akibat debu dapat digunakan untuk mensuplai listrik dari sebuah lampu compact fluorescent lamp (CFL) 5 watt yang setara dengan 300 lumen (Khan dan Abas, 2011) yang cukup untuk kegiatan membaca selama sekitar 10 jam.

Berdasarkan penjelasan di atas, debu adalah faktor penting yang berkontribusi pada penurunan daya dari PV modul, oleh karena itu kegiatan pembersihan secara teratur sangat direkomendasikan untuk proyek skala kecil seperti SHS. Namun demikian, salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam kegiatan pembersihan adalah studi untuk menyelidiki waktu terbaik untuk melakukan kegiatan pembersihan sebab deposisi debu tergantung pada kondisi lingkungan seperti curah hujan, angin, kelembaban relatif dan suhu (Elminir et al., 2006; Mani dan Pillai, 2010; Sarver et al, 2013).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penurunan kinerja PV modul dapat diakibatkan oleh faktor yang sementara (*temporary factor*) seperti deposisi/penumpukan debu pada kaca PV modul
2. Secara umum dapat dilihat bahwa teknologi mc-Si menunjukkan kinerja yang lebih baik yang dibuktikan dengan nilai perbedaan relative (*relative difference*) P_{max} antara kondisi bersih dan berdebu sekitar 8-10% dibandingkan dengan pc-Si yang berkisar 11-16% kecuali modul 5 dengan nilai sebesar 7%.

DAFTAR PUSTAKA:

- Adinoyi, M. J. and S. A. M. Said (2013). "Effect of dust accumulation on the power outputs of solar photovoltaic modules." *Renewable Energy*.
- Appels, R., B. Lefevre, et al. (2013). "Effect of soiling on photovoltaic modules." *Solar Energy*.

- Elminir, H. K., A. E. Ghitas, et al. (2006). "Effect of dust on the transparent cover of solar collectors." *Energy Conversion and Management*.
- EPIA (2014). "Global Market Outlook for Photovoltaics 2014-2018."
- Lubis Abubakar & Sudradjat Adjat 2006, *Listrik Tenaga Surya Fotovoltaik*, BPPT Press.
- Mani, M. and R. Pillai (2010). "Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status, challenges and recommendations." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Mani, M. and R. Pillai (2010). "Impact of dust on solar photovoltaic (PV) performance: Research status."
- Qasem, H., T. R. Betts, et al. (2012). "Dust-induced shading on photovoltaic modules." *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*.
- Sarver, T., A. Al-Qaraghuli, et al. (2013). "A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Sarver, T., A. Al-Qaraghuli, et al. (2013). "A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Tyagi, V. V., N. A. A. Rahim, et al. (2013). "Progress in solar PV technology: Research and achievement." *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Wibawa U, 2001. *Sumber Daya Energi Alternatif*, Diktat Kuliah Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya, Malang.