

EVALUASI KONSTANTA PERSAMAAN KARAKTER PHOTOVOLTAIC TYPE MULTI KRISTAL DENGAN METODE HOOKE-JEEVES

Tjukup Marnoto

Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri
Universitas Pembangunan Nasional "Veteran"
Jln. SWK 104, Lingkar Utara, Condongcatur, Jogjakarta. 55283.

ABSTRAK

Persamaan karakter arus dan voltase (I-V) dari photovoltaik, mengandung beberapa konstanta. Persamaan ini dapat berlaku umum untuk meramalkan karakter (I-V) photovoltaic, apabila nilai-nilai konstanta diketahui. Penentuan nilai-nilai konstanta dilakukan berdasarkan dari data-data eksperimen yang dilakukan dengan variasi variabel yang berpengaruh. Nilai konstanta yang sesuai didapatkan dengan membandingkan data hasil perhitungan dengan data eksperimen menggunakan kaedah jumlah kwadrat kesalahan (SSE) minimum, proses ini dikenal sebagai optimasi (minimasi) persamaan nonlinier multi variabel. Pada tulisan ini akan dipaparkan optimasi fungsi nonlinier multi variabel, dengan metoda pencarian langsung tanpa kendala (*Hooke-Jeeves method*) dan algoritma maupun diagram alir program metode Hooke-Jeeves. Pemrograman komputer dilakukan dengan bantuan bahasa program Scilab. Hasil optimasi diperoleh konstanta persamaan $k_1=0.0065$, $k_2=0.006$, $k_3=2858173$ dan $k_4=12960$. Persamaan model matematik ini dengan konstanta tersebut dapat mewakili karakteristik photovoltaic type multikristal.

ABSTRACT

Current and voltage (I-V) characteristics equation of photovoltaic consists of several variables. The equation can be used generally in (I-V) characteristics prediction when the variables values are known. The variables are determined based on the experimental data collected by varying the parameters involved. Suitable variable value was obtained by comparing calculated and experimental data using minimum sum of squares of error (SSE) which is known as optimization (minimization) of nonlinear multivariable equation. This paper presents nonlinear multivariable optimization function based on direct search and algorithm or program flow chart of Hooke-Jeeves method. Computer program was done by using Scilab programming language. Optimization results of the variables were $k_1=0.0065$, $k_2=0.006$, $k_3=2858173$ and $k_4=12960$. This mathematical equation modeling with the variables can represent the characteristics of multicrystalline photovoltaic.

Keywords: Hooke-Jeeves algorithm, photovoltaic, renewable energy

I. Pendahuluan

Kebijakan pemerintah melalui dewan energi nasional adalah menggalakan pemanfaatan sumber-sumber energi baru dan terbarukan, diantaranya sumber energi matahari, angin, geothermal, hidro maupun biomasa. Letak geografi Indonesia adalah disekitar khatulistiwa dimana sumber tenaga sinar matahari sangat melimpah. Teknologi photovoltaic (PV) dapat merubah sinar matahari menjadi listrik DC. Konversi energi sinar matahari menjadi listrik tergantung dari kondisi suatu daerah yaitu radiasi sinar matahari dan suhu sel PV. Perencanaan pemasangan photovoltaic pada suatu tempat dengan kapasitas tertentu, memerlukan karakteristik daripada sel photovoltaic yang akan digunakan dan data cuaca tempat tersebut, sementara karakter photovoltaic yang tertera hanya arus dan voltase maksimal pada kondisi referensi.

Oleh karena kondisi setempat tidak sesuai dengan kondisi referensi, maka kapasitas terpasang sering tidak memenuhi kapasitas yang diperlukan. Permasalahan ini dapat teratasi dengan adanya persamaan karakter photovoltaic pada berbagai kondisi, untuk meramalkan berapa keping photovoltaic yang harus dipasang untuk memenuhi kapasitas yang diinginkan. Persamaan karakteristik PV secara umum adalah sama, dan hanya beda konstanta-konstanta pada masing-masing type PV (Duffie and Beckman, 1991). Untuk mendapatkan konstanta yang sesuai perlu dilakukan eksperimen, selanjutnya data-data eksperimen dicocokkan dengan data hasil perhitungan model matematik. Optimasi konstanta dengan minimasi jumlah kwadrat kesalahan akan diperoleh konstanta yang optimum.

1.1. Optimasi

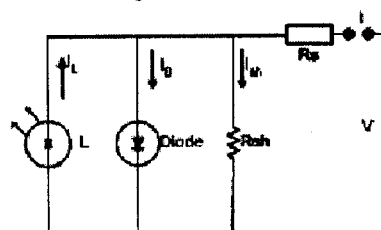
Optimasi adalah proses untuk mencari kondisi atau variabel optimum, dalam suatu peristiwa. Suatu peristiwa dapat dinyatakan dengan kalimat matematik atau disebut pemodelan matematik dengan hasil suatu persamaan atau fungsi yang mewakili peristiwa tersebut. Optimasi variabel-variabel optimum yang mengakibatkan nilai fungsi maksimum disebut maksimasi, sebaliknya variabel-variabel optimum yang mengakibatkan nilai fungsi minimum disebut minimasi. Hal-hal penting dalam optimasi adalah 1). variabel-variabel atau perubah yang berpengaruh dan bisa dipilih (*decision variables*), 2). kendala (*constraints*). 3) fungsi yang akan dioptimasi disebut fungsi objektif (*objective function*). Secara analitik, nilai maksimum atau minimum dari suatu fungsi atau persamaan $y = f(x)$ dapat diperoleh pada titik puncak atau $y' = f'(x) = 0$, dan nilai fungsi maksimum bila $y'' = f''(x) > 0$ serta sebaliknya nilai fungsi minimum pada $y'' = f''(x) < 0$. Suatu fungsi dimungkinkan mempunyai beberapa titik puncak, pada nilai fungsi maksimum maupun minimum, sehingga dikenali beberapa istilah yaitu optimasi lokal (pada interval variabel tertentu) akan didapatkan nilai variabel minimum/maksimum lokal, dan optimasi global (keseluruhan fungsi) akan didapatkan nilai variabel minimum/maksimum global. Proses optimasi dikenal ada dua kaedah yaitu kaedah pencarian langsung dan kaedah gradien (berdasarkan koefisien arah kurva). Pada umumnya kaedah gradien akan diperoleh optimasi global, lain halnya pada kaedah pencarian langsung bisa didapat optimasi lokal. Merujuk kepada jumlah variabel, fungsi dapat mempunyai variabel tunggal dan beberapa variabel (multi variabel). Kaedah gradien untuk optimasi fungsi multi variabel antaranya metode Steepest ascent/descent sedangkan kaedah pencarian langsung diantaranya adalah metode Hooke Jeeves.

Metode Hooke jeeves merupakan kaedah optimasi pencarian langsung tanpa kendala (unconstrains). Namun demikian kendala tersebut dibentuk dan dipakai secara terus menerus pada setiap evaluasi variabel-variabel, yang diawali pada variabel tebakan awal dan dicek pada hitungan berikutnya sampai ditemukan variabel optimum. Dikatakan juga metode Hooke Jeeves merupakan algoritma pencarian langsung yang mencari minimum atau maksimum suatu fungsi nonlinier tanpa memerlukan derivativ fungsi. Sebaliknya ia adalah didasarkan heuristik yang merencanakan arah atau derivativ menggunakan nilai-nilai fungsi yang terhitung dalam sejumlah iterasi sebelumnya. Eksplorasi terhadap semua variabel diperlukan untuk mempermudah iterasi berikutnya (dengan mengulang tahapan sebelumnya, selanjutnya disebut tahapan sukses), pengulangan dilakukan sampai variabel

menjadi terkendala. Selanjutnya eksplorasi dilakukan terhadap variabel tersebut dan atau terhadap perubahan variabel, demikian seterusnya sampai kendala variabel akhir yang memuaskan. [Lacksonen, 2001; Babu, et.al., 2008; An Li, et. Al., 2008].

1.2. Model matematik

Model modul PV dapat disetarakan dengan sirkuit yang mengandung satu diode seperti ditunjukan pada gambar 1. [Duffie and Beckman, 1991, Ulleberg Ø., 1998, Bilgen, 2001, Tjukup Mamoto et. Al.,2006, Celik and Acikgoz, 2007, Mellit, et. Al. 2007].



Gambar 1. Sirkuit kesetaraan photovoltaic.

Neraca arus dan voltase berdasarkan hukum Kirchof adalah:

$$I = I_L - I_0 \left\{ \exp \left(\frac{V + I.R_s}{a} \right) - 1 \right\} \quad \dots (1)$$

Tjukup Mamoto et. Al.,2006 menyatakan bahwa dengan pemodelan semi empirik hubungan parameter a , arus diode jenuh (I_0) dan arus radiasai (I_L) terhadap radiasi sinar matahari dan suhu sel (T_C) mengikuti persamaan (2), (3) dan (4)

$$a = k_1.T_C \quad \dots (2)$$

$$I_L = k_2.G_T \quad \dots (3)$$

$$I_0 = k_3.T_C^3 . \exp \left(- \frac{k_4}{T_C} \right) \quad \dots (4)$$

Subtitusi ke persamaan (1) menjadi persamaan (5)

$$I = k_2.G_T - k_3.T_C^3 \exp \left(- \frac{k_4}{T_C} \right) \left\{ \exp \left(\frac{V + I.R_s}{k_1.T_C} \right) - 1 \right\} \quad \dots (5)$$

Dimana G_T adalah radiasi sinar matahari, T_C adalah suhu sel PV, R_s adalah tahanan seri, V dan I adalah voltase dan arus PV.

II. Metodologi

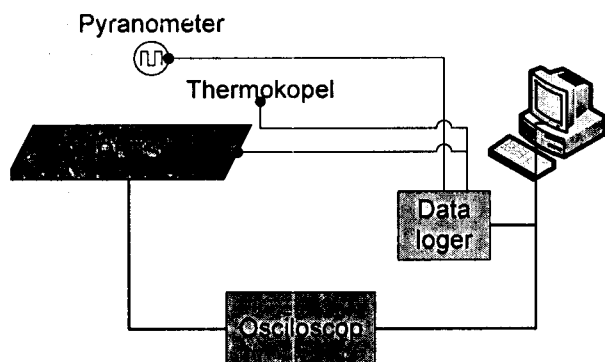
Persamaan karakter PV mengandung 4 buah variabel yang harus dicari. Pencarian dilakukan dengan perbandingan data perhitungan dan

eksperimen menggunakan metode kwadrat terkecil melalui persamaan karakter tersebut. Harga konstanta terbaik (optimum) adalah yang memberikan jumlah kwadrat kesalahan (*Sum of squares of error* = SSE) minimum, sehingga fungsi obyektif pada optimasi persamaan karakter PV dapat dinyatakan pada persamaan 6:

$$F = SSE = \sum_1^{ndata} \left[k_2 \cdot G_T - k_3 \cdot T_C^3 \exp\left(-\frac{k_4}{T_C}\right) \left\{ \exp\left(\frac{V + I \cdot R_s}{k_1 \cdot T_C}\right) - 1 \right\} - I \right]^2 \dots (6)$$

Data-data eksperimen adalah data hasil penelitian yang dilakukan sebagai berikut:

Penelitian ini dilakukan terhadap dua modul PLTS yang dipasang seri. Termokopel dipasang untuk mengukur suhu sel PV dan suhu sekeliling, arus listrik dan voltase diukur dengan osciloscop sedangkan radiasi sinar matahari diukur dengan pyranometer. Skema susunan alat penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2. Pyranometer dan termokopel di hubungkan dengan data logger untuk merubah data menjadi data digital yang selanjutnya direkam oleh komputer data. Osciloscop yang digunakan dilengkapi tegangan geser otomatis yang mengarah pada hambatan maksimum, serta dihubungkan dengan komputer perekam data. Pengambilan data PV (arus dan voltase) dilakukan pada kondisi radiasi sinar matahari dan suhu tertentu (G_T dan T_C , sebagai berikut 118 W/m², 318.32°K; 148 W/m², 321.25°K; 308 W/m², 327.7°K; 711 W/m², 324.21°K; 780 W/m², 329.1°K; 840 W/m², 331.42°K; 978 W/m², 328.56°K) dengan perubahan beban secara otomatis sampai beban maksimum.



Gambar 2. Skema susunan alat penelitian

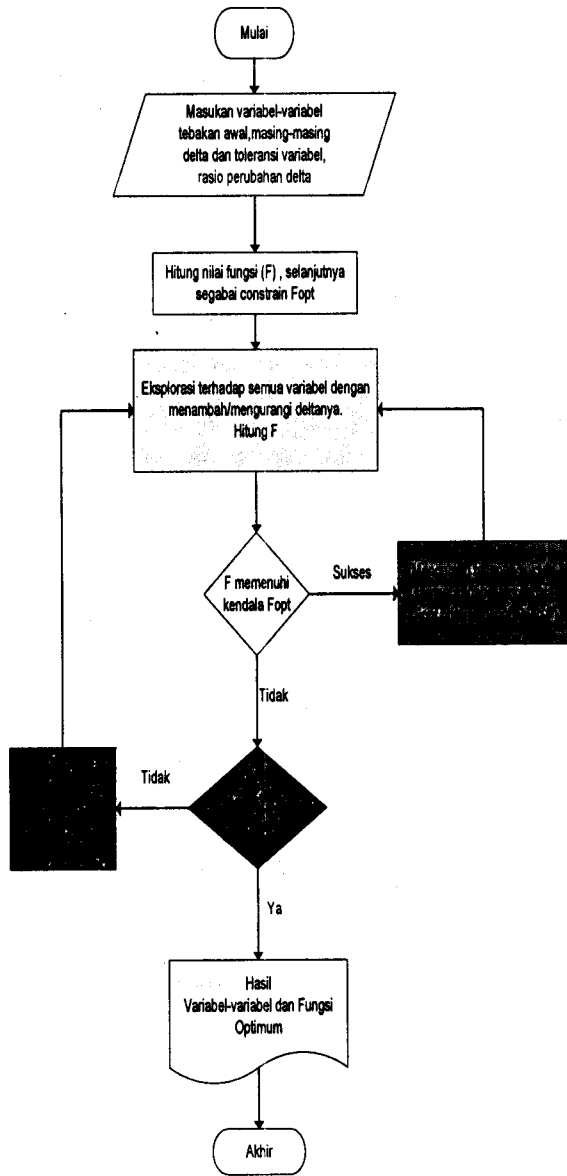
III. Hasil dan Pembahasan

Persamaan karakter PV ini adalah persamaan non linier multi variabel (4 variabel sebagai konstanta). Pencarian nilai konstanta-konstanta persamaan tersebut dilakukan dengan optimasi persamaan (6), dalam hal ini dipilih metoda Hooke Jeeves dengan bantuan bahasa program Scilab.

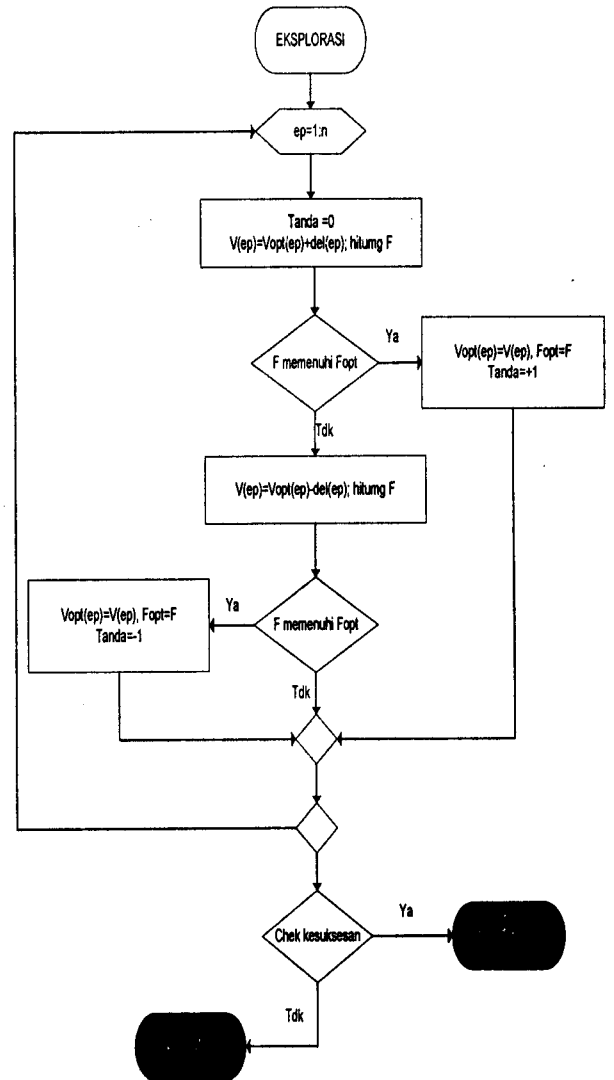
Algoritma metode Hooke Jeeves pada dasarnya dapat dikelompokkan menjadi 3 yaitu :

1. Eksplorasi
Dimulai membentuk kendala dengan menghitung harga fungsi pada variabel awal (Fopt). Masing-masing variabel ditambahkan atau dikurangkan suatu bilangan kecil (delta variabel) dan dihitung kendala berikutnya, tahapan sukses apabila hasil hitungan fungsi memenuhi kendala sebelumnya, kemudian diberi tanda-tanda kesuksesan yaitu tanda +1 untuk penambahan dan -1 untuk pengurangan pada masing-masing variabel. (gambar, 4).
2. Mengulangi tahapan sukses
Apabila ditemukan tanda-tanda kesuksesan, maka tahapan sukses diulangi dengan menambah atau mengurangi variabel dengan delta variabel masing-masing, dan dihitung juga fungsi sebagai kendala berikutnya. Hingga variabel terkendala (gambar, 3)
3. Cek dan mengubah variabel.
Apabila tidak ditemukan tanda-tanda kesuksesan pada hasil eksplorasi maka dilakukan perubahan variabel dengan mengecilkan delta variabel, selanjutnya dilakukan langkah (1 dan seterusnya). Namun demikian apabila delta variabel sudah tidak signifikan terhadap perubahan nilai fungsi terhitung atau delta variabel lebih kecil dari pada toleransinya, maka iterasi dihentikan, dan nilai fungsi dan variabel-variabel tersebut adalah sebagai fungsi dan variabel optimum (gambar, 3)

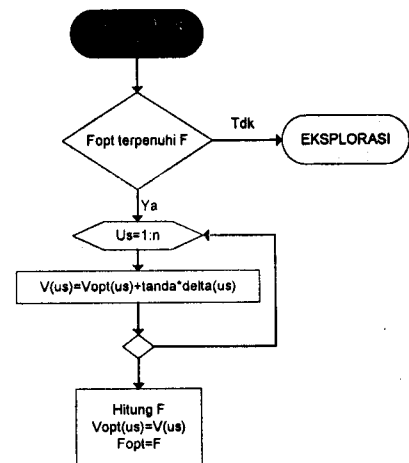
Skema diagram alir secara lengkap (main program) metode Hooke Jeeves ditunjukkan pada Gambar 3, sedangkan gambar 4, 5 dan 6 adalah diagram alir sub program.



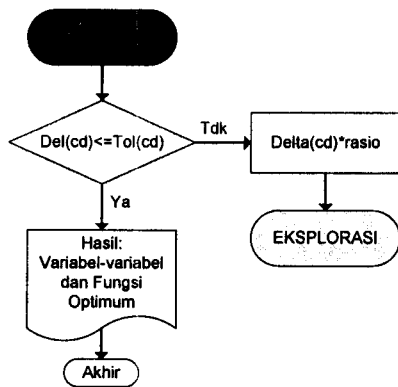
Gambar 3. Diagram alir program utama optimasi Metode Hooke Jeeves.



Gambar 4. Diagram alir subprogram eksplorasi

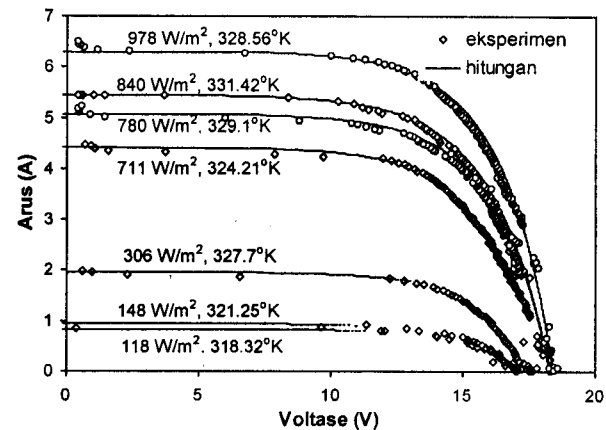


Gambar 5: Diagram alir subprogram mengulang tahapan sukses



Gambar 6 : Diagram alir subprogram cek delta variabel.

Data eksperimen merupakan arus (I) dan voltase (V) keluaran Photovoltaik pada kondisi operasi G_T dan T_C , sebagai berikut 118 W/m², 318.32°K; 148 W/m², 321.25°K; 308 W/m², 327.7°K; 711 W/m², 324.21°K; 780 W/m², 329.1°K; 840 W/m², 331.42°K; 978 W/m², 328.56°K. Optimasi konstanta-konstanta persamaan karakter model matematik ini dilakukan menggunakan metode Hooke Jeeves, dengan bantuan bahasa program Scilab, sebagai obyektif fungsi adalah persamaan (6). Jika nilai fungsi (SSE) adalah minimum maka akan didapatkan nilai-nilai konstanta k_{1-4} yang optimum. Hasil konstanta yang optimum adalah $k_1=0.0065$, $k_2=0.006$, $k_3=2858173$ dan $k_4=12960$. Gambar 7, menunjukkan bahwa perbandingan data karakter I-V eksperimen dan data perhitungan dengan persamaan (5) menggunakan konstanta-konstanta hasil optimasi tidak jauh berbeda. Hal ini menunjukkan bahwa persamaan model matematik tersebut mewakili karakter photovoltaic. Oleh karena penelitian dilakukan terhadap photovoltaic type multi kristalin maka konstanta-konstanta ini secara khusus berlaku untuk photovoltaic type multi kristalin, sedangkan untuk type lain perlu dilakukan penelitian lanjut.



Gambar 7. Perbandingan data eksperimen dan data hasil perhitungan

V. Kesimpulan

1. Konsep eksperimen, pemodelan matematik PV dan metode Hooke Jeeves baik untuk menciptakan persamaan karakter dengan konstanta-konstanta yang sesuai sehingga persamaan ini dapat mewakili karakteristik PV.
2. Konstanta-konstanta yang sesuai (optimum) pada persamaan ini, yaitu $k_1=0.0065$, $k_2=0.006$, $k_3=2858173$ dan $k_4=12960$. Diperoleh pada jumlah kwadrat kesalahan (SSE) antara data eksperimen dan hasil perhitungan adalah minimum.
3. Perbandingan kurva antara data perhitungan (persamaan 5) dengan konstanta terhitung dan data eksperimen (gambar 6) tidak jauh berbeda. Artinya persamaan karakter dengan konstanta yang sesuai dapat mewakili karakteristik PV.
4. Konstanta-konstanta terhitung (k_1-k_4) secara khusus hanya berlaku untuk photovoltaic type multi kristalin. Sedangkan untuk type yang lain disarankan agar dilakukan eksperimen yang sejenis.

VI. Pustaka.

- An Li, Enmin Feng, Xuelian Sun, 2008, Stochastic optimal control and algorithm of the trajectory of horizontal wells, *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 212: 419 – 430.
- Babu, S., Senthil Kumar, T., Balasubramanian, V., 2008, Optimizing pulsed current gas tungsten arc welding parameters of AA6061 aluminium alloy using Hooke and Jeeves algorithm,

- Trans. Nonferrous Met. Soc. China*, 18:1028-1036
- Bilgen. E. 2001, Solar hydrogen from photovoltaic-electrolyzer systems. *Energy Conversion & Management* 42: 1047-1057
- Celik, A.N., Acikgoz, N. 2007. Modelling and experimental verification of the operating current of mono-crystalline photovoltaic modules using four- and five-parameter models. *Applied Energy* 84: 1-15.
- Duffie, J.A. dan Beckman, W.A., 1991, *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2nd ed, John Wiley & Sons Inc, New York.
- Lacksonen, T, 2001, Empirical comparasion of search algorithms for discrete event simulation, *Computers & Industrial Engineering*, 40: 133-148.
- Mellit A., M. Benghaneim, S.A. Kalogirou, 2007, Modeling and simulation of a stand-alone photovoltaic system using an adaptive artificial neural network: Proposition for a new sizing procedure, *Renewable Energy* 32 (2007) 285-313
- Tjukup Marnoto, 2001, *Analisa Numerik dan Pemrograman Komputer*, Jurusan Teknik Kimia, FTI, UPN "Veteran" Yogyakarta.
- Tjukup Mamoto, Kamaruzzaman Sopian & Wan Ramli Wan Daud. 2006. Generalized Equations for Determining The Characteristic of Crystalin Photovoltaic Modules. *Proceedings of the International Symposium and Exhibition on Sustainable Energy and Environment, Kuala Lumpur*, pp. 175-182.
- Ulleberg Ø., 1998, *Stand-Alone Power Systems for the Future: Optimal Design, Operation & Control of Solar-Hydrogen Energy Systems*. PhD thesis, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.