

## Karakteristik Pompa Ganda Fotovoltaik Surya

**Agus Alim**

Program Studi S1 Teknik Fisika Institut Teknologi Bandung,  
Jl. Ganesha 10 Bandung

Politeknik Piksi Ganesha Bandung, Jalan Gatot Subroto 301

Email : agusalim2010@gmail.com

**Abstract:** *One necessary application of the Solar system is a water pump power supply. The solar cells typically designed solely to drive one load pump, to boost water to a high place, over one motor-pump ought to be thought of. Several completely different or similar water pumps are generated by separate solar cell sources, or the solar cells are combined for the total pump. This final project investigates once two water pumps generated by solar cells are combined, with the condition of solar radiation in Bandung. This final project analysis shows that for a special pump let alone a combined solar cell supply has a bonus. At low insolation, the pump will carry up water and may stop the flow of different pumps to enhance the performance of the opposite pump. As a solar module utilized by Arco Solar, it's the efficiency of 8.8%. Pump one efficiency of 26%, and for pump two the efficiency reaches 14%. **Keywords:** Solar system, water pump power supply, solar module, pump efficiency*

Abstrak: Salah satu penerapan penting dari sistem surya, adalah sebagai catu daya pompa air. Jajaran sel surya biasanya dirancang hanya untuk menggerakkan satu pompa berbeban tunggal saja, untuk menaikkan air ke tempat lebih tinggi perlu dipertimbangkan motor-pompa lebih dari satu. Beberapa pompa air yang berbeda atau sama dapat dibangkitkan oleh sumber sel surya secara terpisah atau sel suryanya digabung untuk keseluruhan pompa. Tujuan penelitian ini adalah menganalisa bilamana 2 pompa air dibangkitkan oleh sel surya yang digabung, dengan kondisi radiasi surya di Bandung. Penelitian tugas akhir ini menunjukkan bahwa untuk pompa yang berbeda dikopel dengan sumber sel surya gabungan mempunyai keuntungan. Pada insolasi rendah, pompa tersebut sudah dapat mengangkat air dan dapat memutuskan arus pompa lain untuk meningkatkan kinerja dari pompa yang satunya lagi. Sebagai modul surya digunakan Arco Solar, berefisiensi 8,8%. Dari hasil penelitian, diperoleh untuk pompa-1 efisiensi sebesar 26%. Untuk pompa-2 perolehan efisiensi mencapai 14 %

**Kata kunci:** Sistem Surya , Catu Daya Pompa Air, Modul Surya, Efisiensi Pompa

### 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan air merupakan salah satu hal yang penting dalam kehidupan manusia sehari-hari. Kebutuhan air bersih untuk minum, sanitasi, irigasi serta industri (S.S. Chandel, M. Nagaraju Naik, Rahul Chandel, 2015). Kebutuhan air bersih untuk minum, sanitasi, irigasi serta industri menyebabkan manusia mengeksploitasi sumber air yang ada di alam. Salah satu cara untuk mengeksploitasi sumber tersebut adalah dengan mengangkatnya dari bawah permukaan tanah atau di bawah permukaan bidang kerja. Untuk itu pompa air diperlukan.

Pompa air dapat digerakkan dapat digerakkan oleh tenaga listrik yang berasal dari pembangkit listrik seperti PLN, bisa generator pembangkit listrik tenaga diesel, tenaga angin (R.I. Ramadan, 1986) atau bisa juga dari energi surya melalui modul atau jajaran fotovoltaik. Untuk wilayah pedesaan yang terisolir dengan terbatasnya sumber daya pemilihan energi surya sebagai sumber energi jadi layak untuk diterapkan dengan pertimbangan : Sumber daya energi surya mudah diperoleh; pemakaiannya tak menimbulkan pencemaran lingkungan; peralatannya lebih biasanya sederhana, modul atau jajaran fotovoltaik bisa tahan antara 20

tahun hingga 30 tahun (Jonas Hedström, Linus Palmblad, 2006), arus listriknya dapat disimpan dalam baterai dan harga panel surya cenderung semakin turun. Tetapi kelemahan dari jaringan PV pembangkit listrik adalah efisiensinya masih rendah sekitar 10 % - 18 % yang tersedia di pasaran dan 24% - 33% skala lab (Akbaba, Qamber, & Kamal, 1998). Sehingga berbagai cara diusulkan untuk mengatasi kelemahan tersebut (Appelbaum, 1986; Appelbaum and Sarma, 1989, Akbaba, Qamber, & Kamal, 1998, M.R.I. Ramadan, 1986). Sehingga fokus utama dari perancang ini adalah mencari titik optimum motor dan jaringan PV sebagai pembangkit listrik.. Tetapi kesulitannya adalah kurva karakteristik PV adalah non linear dan tergantung dari insolasi matahari. Sehingga masalah mencari titik optimum menjadi lebih rumit.

Untuk mengatasi masalah di atas pilihan yang tersedia : (a) Penyeleksian dari motor DC dan pompa sehingga dapat beroperasi mendekati titik optimum (Appelbaum, 1986; Appelbaum and Sarma, 1989), (b) Penggunaan dari maximum power-point tracker (MPPT), yaitu alat elektronik yang mengontrol supaya output karakteristi dari PV sesuai dengan input karakteristik motor DC. (H. R. Enslin and D. B. Snyman, (1991),

Pompa ganda Kopel Langsung mempunyai keuntungan yaitu : Waktu beroperasinya lebih lama (maksimal setengah hari) sehingga volume air yang terpompa lebih banyak; Efisiensi pompa yang lebih tinggi dan pada insolasi rendah dapat diputuskan hubungan dari satu pompa untuk meningkatkan kinerja dari pompa lainnya.

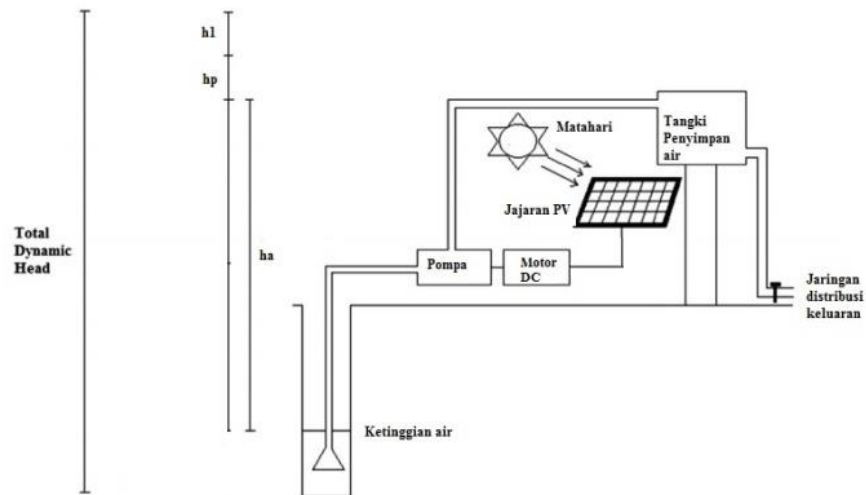
## 2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahap.

1. Tahap pertama adalah tahap persiapan pengambilan data, di mana pada tahap ini dilakukan inventerisasi literatur dan inventerisasi alat pengukur untuk intensitas radiasi surya, arus listrik modul, tegangan listrik modul, debit air dan ketinggian
2. Tahap kedua yaitu tahap konstruksi dan berikutnya pengambilan data. Pada tahap ini yang diukur adalah karakteristik modul surya, intensitas radiasi surya, kapasitas, tegangan keluaran, arus keluaran, dan pengaruh terhadap letak ketinggian pompa terhadap tanah.
3. Tahap ketiga dilakukan pengolahan data.
4. Pada tahap keempat dilakukan tahap analisa data, dimana pada tahap ini akan dilihat faktor-faktor mempengaruhi debit keluaran dari pompa.
5. Tahap kelima adalah penyusunan laporan akhir dan kesimpulan penelitian.

Berdasarkan tahap pertama yaitu inventarisasi literatur berikut dibahas sekilas tentang literatur yang terkait Sistem Pompa Ganda PV Kopel Langsung.

Sistem pompa PV kopel langsung terdiri dari jaringan PV yang dikopel langsung ke motor DC yang menggerakkan pompa sentrifugal seperti gambar 1. Sistemnya sederhana, dapat diandalkan dan rendah biayanya sebab tidak memakai baterai penyimpan atau baterai pengatur tegangan.



**Gambar 1.** Diagram dari system pompa yang dibangkitkan oleh PV

Sistem pompa air PV penelitian ini terdiri atas 3 komponen utama yaitu: Sumber listrik berupa jajaran PV sel surya, konverter elektromekanik yaitu motor listrik dan beban mekanik berupa pompa

Sumber listrik berupa jajaran PV sel surya yang menggerakkan Motor Magnet Permanen memakai persamaan berikut:

$$G = 100 \sin (15t - 90) \tag{1}$$

Dimana : G adalah insolasi matahari dalam persen dan t adalah waktu matahari.

Modul fotovoltaik didesain berdasarkan ramalan berapa banyak energi yang akan didapatkan dari suatu konfigurasi modul. Ada enam hal penting yang harus diketahui dari modul surya, untuk menghitung banyaknya energi listrik yang dapat diberikan dalam satu hari penyinaran

Faktor tersebut adalah: Energi surya harian setempat; Efisiensi modul teoritis; Faktor koreksi efisiensi suhu; Faktor ukuran modul; Faktor pengotoran dan Total luas modul.

Formula dasar untuk memproyeksikan energi keluaran dari modul surya adalah sebagai berikut:

$$PE = TE \times ME \times TC \times FF \times SF \times L \tag{2}$$

Dimana : PE = Energi Fotovoltaik dalam sehari, (kWh), TE = Total energi matahari yang jatuh pada permukaan dalam sehari ( kWh/m<sup>2</sup>), ME = Efisiensi modul dalam format desimal, TC = Faktor koreksi efisiensi berdasarkan suhu kerja, diperlukan untuk mengubah ME pada NOCT-nya. (NOCT = Nominal Operating Cell Temperature, Suhu kerja nominal cel), PF = Faktor ukuran, perbandingan luas cel yang aktif dengan luas total dalam format desimal. L = luas modul surya

Rincian modul fotovoltaik sering kali tidak diberikan oleh pabrik pembuatnya seperti: efisiensi cel, luas, dan faktor ukuran. Bila rincian seperti itu tidak ada, maka persamaan di bawah ini dapat dipakai:

$$PE = TE \times \left( \frac{MO}{1000} \text{ watt} \right) \times TC \times N \tag{3}$$

di mana: MO = harga puncak keluaran daya modul surya fotovoltaik pada temperatur tertentu; N =Jumlah modul surya total;

Konversi harga ini dapat diselesaikan dengan persamaan:

$$PP = L \times 1000 \left( \frac{W}{m^2} \right) \times ME \times FF \tag{4}$$

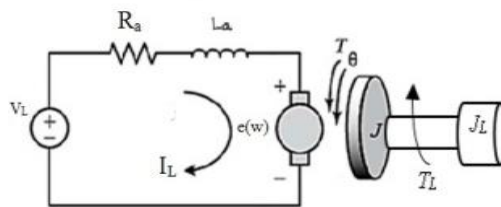
di mana PP Daya puncak fotovoltaik, (Wp/m<sup>2</sup>)

Efisiensi dari PV atau Persentase kinerja penggunaan energy dari system PV mengikuti rumus berikut :

$$\eta E = \frac{\int_{\pi}^{12:00} P(T) dT}{\int_{06:00}^{12:00} Pm(T) dT} \tag{5}$$

Dimana : P adalah keluaran mekanik (daya hidraulik) dari pasangan motor pompa, Pm adalah daya keluaran elektrik maksimum dari jajaran sel surya, P dan Pm keduanya adalah fungsi dari insolasi sel surya (G)(persamaan (1)). T1 adalah waktu dimana air mulai mengalir.

Rangkaian sederhana sebuah motor DC Magnet Permanen terdiri dari sebuah sumber tegangan yang diseri dengan hambatan jangkar dari motor (Ra). Emf induksi e(w) yang ditimbulkannya akan menghasilkan rotasi jangkar. Dalam motor DC, tegangan jepit (VL), mempunyai arah yang sama dengan arus dalam kumparan jangkar, akan tetapi berlawanan arah dengan tegangan induksi e(w).



**Gambar 2.** Rangkaian Sederhana Motor DC Magnet Permanen

Persamaan yang diberikan pada operasi motor DC Magnet permanen motor DC Magnet Permanen diberikan oleh persamaan berikut :

$$V_L = I_L \cdot R_a + e(w) \tag{6}$$

Secara umum keuntungan dari motor DC magnet permanen adalah : Efisiensinya tinggi, Tidak membutuhkan inverter dan sangat cocok untuk kopling langsung ke panel PV

Penelitian ini menggunakan pompa sentrifugal, biasanya digunakan untuk head yang rendah/tekanan yang rendah, khususnya jika hubungan langsung ke panel surya dibutuhkan. Pompa ini mempunyai sebuah impeller (baling-baling) untuk mengangkat zat cair dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi. Daya dari luar diberikan kepada poros pompa untuk memutar impeller di dalam zat cair. Zat cair yang ada di dalam impeller ini ikut berputar dengan sudu-sudu. Karena timbul gaya sentrifugal maka zat cair mengalir dari tengah impeller ke luar melalui saluran di antara sudu-sudu. Selisih energi per satuan berat atau head total zat cair antara flens isap dan flens keluar pompa disebut Head Total Pompa. Head Total Pompa dapat dinyatakan sebagai berikut:

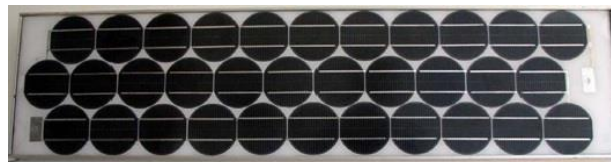
$$H = h_a + h_p + h_1 + v^2/2g \tag{7}$$

di mana  $H$  adalah Head total pompa (m);  $h_a$  adalah Head statis pompa (m) dihitung dari perbedaan tinggi antara muka air di sisi keluar;  $h_p$  adalah perbedaan head tekanan yang bekerja pada kedua permukaan air (m);  $h_l$  adalah berbagai kerugian head;  $v^2/2g$  adalah Head kecepatan keluar (m),  $g$  adalah percepatan gravitasi ( $9,8 \text{ m/det}^2$ ), di gambar 1.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

**Peralatan yang dipakai penelitian ini adalah :**

- a) Modul Surya, Modul sebagai sumber arus adalah ARCO ASI 16-2000, Area sel efektif :  $0,26 \text{ m}^2$ , Jumlah Sel Permodul: 33 PM = 33 WP ,  $I_{sc} = 2,5 \text{ A}$  ,  $V_{oc} = 20 \text{ V}$



**Gambar 3.** PV Module ARCO ASI 16-2000

- b) Motor DC dan pompa sudah terpasang menjadi satu bagian, yaitu: pompa I (Model : Marine SBL-2512 A; Jenis : Pompa Sentrifugal Submersible; Motor : 12 Volt DC; Arus Max : 5,4 A; Pabrik : CMEC Guangdhong Co,Ltd); pompa II (Model : 1 P 11 A ; Jenis : Pompa sentrifugal Submersible Motor : 12 Volt DC; Arus maks : 2,0 A Pabrik : TEEL MARINE (USA)
- c) Voltmeter (Kingdom, KD-528T)
- d) Amperemeter (Aron, AD-350CT)
- e) Recorder Hioki 8202 untuk mencatat tegangan dan insolasi
- f) Pengukur Intensitas (Haeni Solar 118), Solar sensor SS 100, serial no 1703, Dodge Product,Houston, Texas.
- g) Pengukur debit air
- h) Catu daya

Pengukuran dilakukan pada bulan Maret yang mempunyai cuaca peralihan antara musim hujan dan kemarau, di Jurusan Teknik Fisika, Institut Teknologi Bandung, yang mempunyai posisi kordinat 656 Lintang Selatan dan 107 36 Bujur Timur.

Keadaan lokasi pengukuran: Tidak tertutup oleh bayangan dari jam 08:00 sampai jam 16:00; Kecepatan angin relatif konstan; Faktor kelembaban udara dan kandungan debu tidak begitu diperhatikan, hal ini disebabkan waktu pengukuran hanya berjalan dengan singkat.

Pada pengambilan data ini modul surya ditempatkan pada ketinggian sekitar 5 meter di atas tanah, dengan posisi modul horisontal. Motor DC dan pompa air diletakkan pada sumber air, dan air dipompa ke atas melalui pipa yang berdiameter 0,5 inch ketinggian sebagai parameter perubahan. Data yang diambil adalah data radiasi surya global (Insolasi) sebagai masukan sistem.

Hasil penelitian dirangkum dalam tabel 1. Detail perhari mengacu ke tabel 2,3& 4

**Tabel 1. Efisiensi Modul dan Pompa**

Hari	Head (m)	Efisiensi Modul	Efisiensi Pompa I ( $\eta_{mp1}$ )	Efisiensi Pompa II ( $\eta_{mp2}$ )
1	1,7	8,6%	26%	14%
2	2,1	6,7%	7%	3%
3	2,7	6,7%	0,9%	0,0%

**Tabel 2. Detail Hari I , Head 1,7 m**

No	Jam	G (watt/m <sup>2</sup> )	V (Volt)	I <sub>T</sub> (Amp)	I <sub>1</sub> (Amp)	I <sub>2</sub> (Amp)	Vo1 (m <sup>3</sup> )	Vo2 (m <sup>3</sup> )
1	8:00:00 - 9:00:00	375	6,9	2,04	0,32	1,72	0,201	0,44
2	9:00:00 - 10:00:00	483	7,8	2,71	0,42	2,29	0,234	0,56
3	10:00:00 - 11:00:00	592	8,78	3,47	0,97	2,5	0,431	0,54
4	11:00:00 - 12:00:00	663	10	4,21	1,42	2,79	0,489	0,6
5	12:00:00 - 13:00:00	629	8,8	3,71	1,21	2,5	0,591	0,56
6	13:00:00 - 14:00:00	482	5,79	2,77	0,84	1,93	0,341	0,56
7	14:00:00 - 15:00:00	349	4,5	2,08	0,4	1,68	0,271	0,41
8	15:00:00 - 16:00:00	219	1,9	0,76	0,28	0,48	0,001	0,02

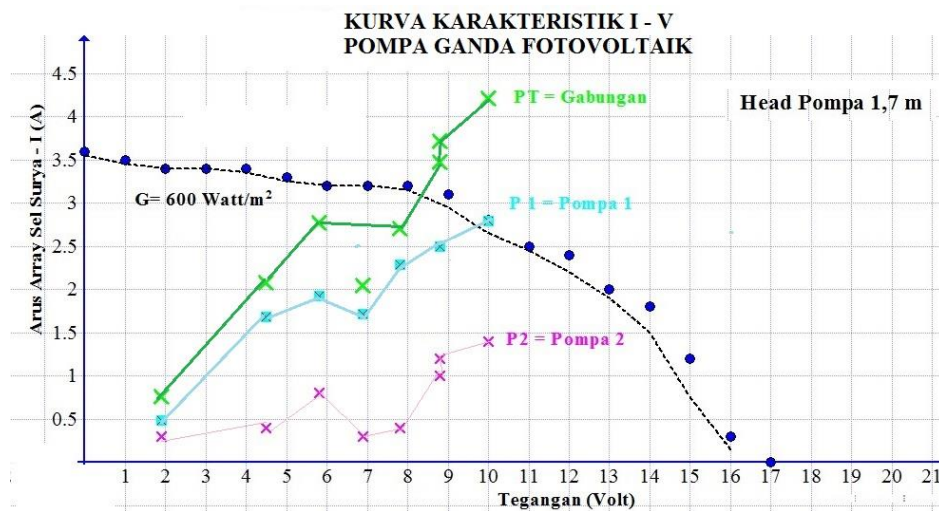
**Tabel 3. Detail Hari II , Head 2,1 m**

No	Jam	G (watt/m <sup>2</sup> )	V (Volt)	I <sub>T</sub> (Amp)	I <sub>1</sub> (Amp)	I <sub>2</sub> (Amp)	Vo1 (m <sup>3</sup> )	Vo2 (m <sup>3</sup> )
1	10:00:00 - 11:00:00	290	6,1	2,04	1,75	0,29	0	0
2	11:00:00 - 12:00:00	371	6,2	2,3	1,87	0,43	0,14	0,017
3	12:00:00 - 13:00:00	408	6,06	2,2	1,75	0,45	0,237	0,022
4	13:00:00 - 14:00:00	414	6,5	2,42	1,95	0,47	0,176	0,02
5	14:00:00 - 15:00:00	170	1,58	0,62	0,51	0,11	0	0

**Tabel 4. Detail Hari III , Head 2,7 m**

No	Jam	G (watt/m <sup>2</sup> )	V (Volt)	I <sub>T</sub> (Amp)	I <sub>1</sub> (Amp)	I <sub>2</sub> (Amp)	Vo1 (m <sup>3</sup> )	Vo2 (m <sup>3</sup> )
1	10:00:00 - 11:00:00	290	6,1	2,04	1,75	0,29	0	0
2	11:00:00 - 12:00:00	371	6,2	2,3	1,87	0,43	0,14	0,017
3	12:00:00 - 13:00:00	408	6,06	2,2	1,75	0,45	0,237	0,022
4	13:00:00 - 14:00:00	414	6,5	2,42	1,95	0,47	0,176	0,02
5	14:00:00 - 15:00:00	170	1,58	0,62	0,51	0,11	0	0

Analisa Hasil Pengukuran. Hasil tabel 1 (hasil terbaik) ditampilkan dalam kurva karakteristik IV didapatkan gambar 5 untuk dianalisa



**Gambar 5. Kurva Karakteristik I-V Pompa Ganda Fotovoltaik**

Berdasarkan gambar 5 di atas dapat dianalisa bahwa titik kerja pompa 1 lebih mendekati ketitik kurva G ( $600 \text{ Watt/m}^2$ ) sehingga dapat beroperasi lebih maksimum dari pompa 2. Sehingga efisiensinya lebih tinggi dari pompa 2. (lihat tabel 1). Demikian juga  $I_{\text{max}}$  pompa 1 ( $I_{\text{max}} = 5.4 \text{ A}$ ) lebih tinggi dari pompa 2 ( $I_{\text{max}} = 2 \text{ A}$ , Data dari peralatan penelitian).

#### 4. Kesimpulan dan Saran

##### *Kesimpulan:*

1. Efisiensi modul surya terbaik di dapat pada hari 1 (tabel 2) yaitu 8,6%, demikian juga efisiensi terbaik pompa 1 & 2 di hari 1 yaitu 26% dan 14 %. Karena kondisi pada saat itu langit cerah insolasi matahari tergolong tinggi puncaknya pada jam 11 ke 12 siang sempat mencapai  $663 \text{ (watt/m}^2\text{)}$ .
2. Untuk hari ke 2 dan 3 (tabel 2 &3) insolasi matahari rendah dan berawan sehingga waktu beroperasi pompa lebih pendek dibanding hari 1. Untuk kasus ini (insolasi rendah) lebih menguntungkan untuk menggunakan satu pompa (memutus arus pompa lainnya) supaya kinerja pompa lain meningkat
3. Efisiensi motor-pompa bervariasi selain dipengaruhi oleh insolasi matahari juga dipengaruhi oleh head total

##### *Saran :*

1. Ketelitian pengamatan penelitian tentang pompa ganda fotovoltaik ini akan lebih baik lagi bila pengukuran dilakukan setiap interval 5 menit (penelitian ini menggunakan interval waktu 15 menit).
2. Dalam merancang sistem pompa ganda pengetahuan tentang karakteristik masing masing pompa harus benar benar dipahami supaya matching dengan jajaran PVnya.
3. Perlu dibikin mekanisme pengontrolan kapan pompa yang satunya diputus kapan di kembali di sambung.

**DAFTAR PUSTAKA**

- M.R.I. Ramadan, 1986, Load matching and performance of a non-tracking stand-alone photovoltaic generator in Sana'a University, *Solar & Wind Technology*, 3(3), 155-162. [https://doi.org/10.1016/0741-983X\(86\)90029-9](https://doi.org/10.1016/0741-983X(86)90029-9)
- J. Appelbaum ; M.S. Sarma, 1989, The operation of permanent magnet DC motors powered by a common source of solar cells, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 4 (4), 635 – 642. DOI: 10.1109/60.41722
- H. R. Enslin and D. B. Snyman, (1993), An experimental evaluation of MPPT converter topologies for PV installations, *Renewable Energy*, 3(8), 841-848. DOI: 10.1016/0960-1481(93)90040-N
- Chaurey, S. Deambi, 1992, Battery storage for PV power systems: An overview *Renewable Energy*, 2(3), 227-235. [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(92\)90036-3](https://doi.org/10.1016/0960-1481(92)90036-3)
- A.K. Som, S.M. Al-Alawi, 1992, Evaluation of efficiency and degradation of mono- and polycrystalline PV modules under outdoor conditions, *Renewable Energy*, 2(1), Pages 85-91. [https://doi.org/10.1016/0960-1481\(92\)90064-A](https://doi.org/10.1016/0960-1481(92)90064-A)
- Hamid M.B. Metwally, Wagdy R. Anis, 1996, Dynamic performance of directly coupled photovoltaic water pumping system using D.C. shunt motor., *Energy Conversion and Management*, 37(9), 1407-1416. [https://doi.org/10.1016/0196-8904\(95\)00226-X](https://doi.org/10.1016/0196-8904(95)00226-X)
- G. Vetter, W. Wirth, 1993, Suitability of eccentric helical pumps for turbid water deep well pumping in photovoltaic systems, *Solar Energy*, 51(3), Pages 205-214. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(93\)90098-9](https://doi.org/10.1016/0038-092X(93)90098-9)
- Kame Y. Khouzam, 1994, The load matching approach to sizing photovoltaic systems with short-term energy storage, *Solar Energy*, 5(53), Pages 403-409. [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(94\)90055-8](https://doi.org/10.1016/0038-092X(94)90055-8)
- Mehmet Akbaba, Isa Qamber, Adel Kamal, 1998, Matching of Separately Excited DC motors to Photovoltaic Generators for Maximum Power Output, *Solar Energy*, 63(1), Pages 375-385. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(98\)00094-2](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(98)00094-2),
- Jonas Hedström , Linus Palmblad, 2006, Performance of old PV- modules Measurement of 25 years old crystalline silicone modules, *Elforsk rapport 06:71*. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.560.3244&rep=rep1&type=pdf>
- Rak Skunpong, Boonyang Plangklang, 2011, A Practical Method for Quickly PV Sizing, *Procedia Engineering*, 8, 120-127. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.03.022>
- Ishaque, Kashif & Salam, Zainal & ., Syafaruddin. (2011). Shamsudin A comprehensive MATLAB Simulink PV system simulator with partial shading capability based on two-diode model. *Solar Energy*. 85. 2217-2227. 10.1016/ <https://doi.org/10.1016/j.solener.2011.06.008>
- Kumar Sharma, Dinesh & Shakya, Shree. (2011). Training Manual for Engineers on Solar PV System. 10.13140/2.1.3156.9607. DOI: 10.13140/2.1.3156.9607
- S.S. Chandel, M. Nagaraju Naik, Rahul Chandel, 2015, Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*• 49, 1084-1099. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.083>
- Essam E. Aboul Zahab, Aziza M. Zaki, Mohamed M. El-sotouhy, 2017, Design and control of a standalone PV water pumping system, *Journal of Electrical Systems and Information Technology*, 4(2), 322-337. <https://doi.org/10.1016/j.jesit.2016.03.003>