

OPTIMASI PEMANFAATAN SISTEM PEMOMPAAN TENAGA ANGIN (SPTA) UNTUK SUMBER-SUMBER AIR DALAM DENGAN TURBIN ANGIN LISTRIK SUDU MAJEMUK SEBAGAI PENGGERAK POMPA

Sahat Pakpahan dan Soeripno

Peneliti" Pusat Teknologi Dirganlara Tcrapan, LAPAN

ABSTRACT

The application of Wind Energy Conversion Systems (WECS) for supplying water for households, irrigation, livestock or other purposes have been developed to increase the contribution of renewable source of energy to support people, particularly at locations where accessibility to public utility networks not available or when the system itself needed by the consumer. Various WECS available in market as well as commercial pumps which can be used for bored hole, deep well or surface water and must be matched for optimal performance of the whole system; therefore, the analysis for selection of a pump due to its design characteristics for matching with an existing wind turbine that result-in optimal conditions of supply and demand has to be performed. A wind turbine with 6 blades rotor installed at BBUG Somas Bantul is taken as a case study.

ABSTRAK

Aplikasi teknologi Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) untuk penyediaan air baik rumah tangga, irigasi, peternakan maupun kebutuhan lainnya, merupakan bagian dan peningkatan kontribusi pemanfaatan sumber-sumber energi terbarukan guna membantu masyarakat terutama di daerah-daerah yang pasokan listriknya belum tersedia atau sistem tersebut diinginkan oleh pengguna. Berbagai produk turbin angin beserta pompa mekanik dan listrik tersedia di pasaran dan untuk sumber-sumber air dapat berupa sumur bor, sumur dalam ataupun air permukaan. Hasil optimal dapat diperoleh berdasarkan analisis kesesuaian antara pasokan dan permintaan dan untuk studi kasus, dipilih uji coba pemanfaatan sebuah turbin angin listrik dengan rotor 6 sudu di BBUG Samas Bantul.

1. PENDAHULUAN

Sebagai salah satu jenis sumber energi terbarukan (ET), energi angin dapat di konversikan menjadi energi mekanik maupun listrik tergantung pada tujuan pemakaian dan sistem pemompaan yang akan digunakan. Untuk sumur sumur bor maupun sumur dalam sampai kedalaman dan putaran tertentu, pompa dengan gerakan tumnaik (misalnya pompa piston) atau dengan gerakan berputar (misalnya helical pump) dapat digunakan; akan tetapi untuk putaran tinggi (1000 rpm atau lebih), diperlukan pompa-pompa listrik putaran tinggi antara lain tipe sentrifugal yang dapat dibenamkan ke dalam air (submersible pump). Dengan demikian, untuk aplikasi ini diperlukan turbin angin listrik sebagai pemasok daya.

Dari segi komersial, tersedia berbagai produk pompa listrik di pasaran; demikian juga

turbin-turbin angin dari berbagai kapasitas dan rancangan; sedangkan dari segi pengguna (demand), pilihan akan ditentukan berdasarkan kebutuhan aktual di lapangan mencakup jenis pemanfaatan air yang dipompakan, debit air yang diperlukan, jarak sumber air ke pengguna, tinggi hidraulik (head), dan juga pertimbangan ekonomis untuk biaya keseluruhan sistem terpasang yang akan memberikan hasil pemompaan optimal berdasarkan turbin angin yang tersedia dan perangkat pompa yang digunakan.

Makalah ini menganalisis suatu metoda optimasi yang memungkinkan pemilihan komponen sistem pemompaan yang lebih sesuai (turbin angin dan pompa) berdasarkan potensi energi angin dan berbagai pilihan pompa yang tersedia di pasaran yang didasarkan pada penentuan titik kerja optimal antara turbin angin dan pompa.

2. ANALISIS PEMILIHAN POMPA

2.1 Seleksi Tipe Pompa

Pada dasarnya, pemakaian pompa untuk sumur-sumur bor dan sumur dalam berbeda dengan air permukaan. Pompa untuk sumur bor dan sumur dalam umumnya menggunakan lip *sentrifugal* putaran tinggi 1000 rpm atau lebih yang dapat ditenamkan ke dalam air (submersible pump), atau tipe *positive displacement pump* untuk putaran-putaran yang lebih rendah, misalnya pompa piston yang bergerak turun naik atau dengan rotor yang berputar secara spiral seperti sekrup (helical pump). Untuk sumber-sumber air permukaan, pompa dipasang pada permukaan air atau permukaan tanah dan dilengkapi dengan pipa isap.

Selain tipe sentrifugal, pompa yang paling umum digunakan untuk aplikasi sumber air permukaan ini, adalah tipe aliran aksial atau campuran. Karakteristik penting dan berbagai tipe pompa ini adalah sebagai berikut:

a Pompa sentrifugal

Memerlukan putaran tinggi (1000 rpm atau lebih) sehingga hanya dapat digerakkan dengan listrik sebagai penggerak (pompa listrik). Pompa jenis ini tidak beroperasi baik dalam julat putaran yang lebar. Pada putaran kurang dari 1000 rpm tidak mampu menaikkan air sedangkan pada putaran lebih tinggi, yakni sekitar 3000 rpm, efisiensinya turun banyak dan akibatnya tidak menghasilkan daya angkat yang cukup untuk menaikkan air. Dengan demikian tipe ini akan memiliki efisiensi optimal pada suatu tinggi hidraulik (head) dan putaran rancangan tertentu. Salah satu produk komersial terkenal pompa ini, adalah pompa benam Grundfos yang memiliki impeller-impeller di dalam tabung silinder sebagai bagian yang menaikkan air

b. Tipe rotor bergerak (positive displacement pump)

Memiliki rotor atau penggerak berbentuk piston yang dapat turun naik (piston pump) atau berbentuk sekrup yang bergerak berputar seperti spinuThelikal terhadap staler karet dan jenis pompa ini disebut *progressive cavity pump* Keluaran pompa hampir tidak bergantung pada *head*, tetapi berbanding langsung dengan putaran.

Pada pompa piston, ketika piston bergerak ke bawah, katup piston membuka dan mengalirkan air dari bagian bawah piston ke atasnya; dan sebaliknya ketika piston naik, katup menutup dan membuka katup kaki. Selanjutnya air di atas piston diangkat ke atas dan didorong keluar melalui saluran buang; dan pada waktu yang bersamaan, pipa isap yang berada di bagian bawah piston mengalirkan air melalui katup kaki. Siklus ini akan berulang dan air akan dikumpulkan dari bagian atas pompa.

Pada tipe rotor berputar (*rotary positive displacement pump*), air diisi pada dasar silinder pompa dan kemudian dinaikkan ke atas.

Pompa-pompa piston untuk sumur bor atau sumur dalam beroperasi pada langkah torak/piston yang rendah, yakni 1 - 50 langkah per menit, sehingga penggerak yang lebih sesuai, adalah kincir mekanik, bukan turbin angin propeler. Ketiga jenis pompa ini diberikan pada Gambar 2-1a, 2-1b dan 2-1c

Untuk pemakaian di BBUG Samas yang menggunakan turbin angin dan sumur bor dengan kedalaman 20 m, dipilih pompa sentrifugal yang ditenamkan ke dalam sumur (submersible pump) yang digerakkan oleh listrik 3 fasa dan digunakan untuk memompakan air ke bak pembibitan udang dan air minum untuk rumah tangga.

2.2 Ukuran Pompa

Ukuran pompa mencakup dimensi, kapasitas pemompaan dan tinggi hidraulik pemompaan (head). Pompa digerakkan oleh elektromotor yang umumnya memerlukan tegangan listrik 3 fasa 220/380V, 50 Hz. Pompa harus dipilih sehingga torsi awal dapat disepadankan (matched) oleh rotor dalam kecepatan angin rata-rata. Jika pompa terlalu besar, rotor hanya akan mulai beroperasi pada kecepatan angin tinggi dan mengeluarkan banyak air dalam interval-interval yang tidak sering; sebaliknya, jika terlalu kecil, rotor akan mulai bekerja pada kecepatan angin yang rendah, akan tetapi pompa hanya mengeluarkan air dengan debit yang rendah. Dengan demikian, guna memperoleh suatu hasil optimal, diperlukan kesesuaian karakteristik turbin angin dan pompa.

3. METODA KOMPUTASI

Kesesuaian pompa terhadap turbin angin dimaksudkan untuk mendapatkan prestasi optimal, di mana pada kecepatan-kecepatan angin yang diketahui (di lokasi), rotor turbin angin

berputar pada kecepatan putaran yang akan menghasilkan daya mekanis yang sama dengan daya mekanis yang dibutuhkan oleh pompa.

Metoda komputasi dilakukan dengan mengimkan program aplikasi yang tersedia secara komersial yang dapat disimulasi untuk berbagai produk pompa dengan berbagai variasi masukan data antara lain: julat kecepatan angin yang dimiliki di lokasi, efisiensi yang diinginkan, data kedalaman sumur, kapasitas pompa, frekuensi operasional untuk menghidupkan, operasional dan batas pengontrolan, dll. Sebagai keluaran akan dihasilkan jenis pompa yang paling sesuai berupa kapasitas pemompaan dan tinggi hidraulik yang sesuai, dimensi dan bahkan merek dan fabrikasi. Untuk bal ini, metoda komputasi dilakukan berdasarkan konsep berikut.

Daya (PR) yang dihasilkan oleh rotor sebuah turbin angin sebagai fungsi kecepatan angin di lokasi, adalah

$$P_R = C_p * 0.5 * \rho * V^3 * A \dots\dots\dots (3-1)$$

dan torsi rotor (QR), adalah

$$Q_R = C_q * 0.5 * \rho * V^2 * A * R \dots\dots\dots (3-2)$$

Dari persamaan (3-1) dan (3-2) dengan rasio kecepatan ujung

$$\lambda = \frac{\Omega R}{V_1}, \text{ maka hubungan antara } C_p \text{ dan } C_q$$

$$\text{diberikan oleh } C_p = \lambda * C_q \dots\dots\dots (3-3)$$

Keterangan :

C_p = koefisien daya rotor

C_q = koefisien torsi

ρ = rapat massa udara (=1,3 kg/m³)

V = kecepatan angin (m/s)

A = luas sapuan rotor turbin angin (m²) dan

R = jari-jari rotor(m)

Kedua besaran ini merupakan parameter utama untuk optimasi sistem dan untuk sebuah turbin angin diperlihatkan pada Gambar 3-1 sebagai fungsi putaran rotor. Selanjutnya pada sistem koordinat yang sama digambarkan kurva daya pompa terhadap putaran.

Langkah awal optimasi dilakukan dengan menentukan titik kerja yang akan memberikan kesesuaian antara karakteristik rotor turbin angin dan pompa, yakni titik potong kedua kurva (titik A pada Gambar 3-1) pada suatu kecepatan angin

tertentu, dan pada kecepatan-kecepatan angin lainnya diperoleh dengan cara sama.

Daya hidraulik dalam Watt (Ph), yakni daya yang diperlukan untuk menghasilkan suatu debit air tertentu (q) ke pengguna, adalah

$$P_h = \rho_w * g * H * q \dots\dots\dots (3-4)$$

Keterangan:

ρ_w =rapat massa air (=1000 kg/m³)

g =percepatan gravitasi bumi (=9,8 m/s²)

H =tinggi hidraulik total (m) dan q = debit air (m³/s.)

Selanjutnya dengan menggabungkan kurva Ph terhadap kurva-kurva pompa dan turbin angin pada titik-titik kerjanya dan menarik garis vertikal ke bawah melalui titik-titik kerja tersebut, maka garis yang dibatasi oleh titik-titik kerja dan titik potong dengan kurva hidraulik merupakan daya netto sebagai keluaran pompa.

Untuk menentukan Cp maksimum, gambarkan kurva Ph (dalam Watt) terhadap kecepatan-kecepatan angin dalam julat yang memungkinkan (misalnya :1 m/s - 10 m/s) dan akan menghasilkan Cp maksimum pada kecepatan angin tertentu).

Untuk sistem keseluruhan, daya netto untuk kombinasi pompa turbin angin pada titik kerjanya, adalah

$$P_n = \eta_t * P_r \dots\dots\dots (3-5)$$

Dengan substitusi η_{tot} (efisiensi total) = $\eta_t * \eta_g$ dan $P_r = C_p 0.5 V^3 \pi R^2$, dengan η_t = efisiensi transmisi, η_g = generator dan jaringan, maka

$$P_h = \eta * P_R \dots\dots\dots (3-6)$$

Untuk kondisi optimal, kecepatan angin V=Vd (kecepatan rancangan), $C_p = C_p$ maksimum, dan debit rancangan (design flow rate) q = qd. Harga Ph dinyatakan oleh persamaan (3-4); sedangkan PR, nR dan QR dinyatakan oleh tipe pompa yang dipilih, dan untuk Tocardo 4500 diberikan oleh persamaan (5-1), (5-2) dan (5-3).

Nilai-nilai TJ, Cp_{max}, R, Pw, dan g diketahui,

Bentuk matematis debit rancangan pompa qa, sebagai fungsi putaran bergantung pada jenis dan rancangan pompa (sentrifugal, piston, dll) dan dapat diperoleh dari fabrikasi; sehingga dengan memasukkan persamaan q= qa ke dalam persamaan (3-4) bersama PR dalam

(3-1) ke dalam persamaan (3-6), maka kecepatan angin yang akan memberikan hasil optimal, yakni kecepatan angin rancangan (V_d) untuk nilai H dan q tertentu dapat diperoleh.

4. SIMULASI DAN OPTIMASI

4.1 Konfigurasi Turbin Angin

Turbin angin ini dirancang, sehingga dapat beroperasi pada kecepatan angin rendah untuk situasi di Eropa, namun masih kurang rendah untuk kondisi angin di Indonesia. Pada umumnya turbin angin skala kecil dirancang untuk pemanfaatan di lokasi terpencil, sehingga sistem diharapkan dapat berfungsi secara berdiri-sendiri namun tidak menutup kemungkinan untuk dihubungkan ke jaringan *umum/grid connection system*.

Konfigurasi sistem turbin angin Tocardo 4500, terdiri dari rotor, naf, nasel, roda gigi, generator, rangka ekor, daun samping, menara dan sistem kontrol serta pompa air. Konfigurasi dan spesifikasi diperlihatkan pada Gambar 4-1.

4.2 Simulasi dan Optimasi

Untuk mendapatkan konfigurasi yang optimal antara daya turbin angin dengan pompa yang dipengaruhi oleh kondisi potensi energi angin dan total tinggi pemompaan (Head), maka perlu dilakukan sinkronisasi.

Untuk mensimulasi hubungan antara daya, torsi dan putaran turbin angin serta kesesuaian terhadap beberapa pompa (Grundfos tipe benam) digunakan metoda komputasi kerangka dengan perangkat lunak (software) yang tersedia. Untuk turbin angin Tocardo 4500, nilai X , C_p , dan C_q berdasarkan Kragten diperlihatkan pada Tabel 4-1.

Tabel 4-1 : NILAI BERBAGAI KONDISI C_p DAN C_q PADA X DESIGN

X	C_p	C_q
0	0	0.095
0.5	0.052	0.104
1.0	0.12	0.12
1.5	0.24	0.16
2.0	0.34	0.17
2.4	0.38	0.1583
2.5	0.378	0.1512
3.0	0.32	0.1067
3.5	0.15	0.0429
3.84	0	0.0

Untuk turbin angin Tocardo, putaran rotor dinyatakan oleh persamaan:

$$n_R = 4.244 * 0.5 * \cos(\Delta * \pi / 180) * V \dots(4-1)$$

Daya turbin angin untuk pemompaan dinyatakan dengan persamaan:

$$P = 9.5343 * C_p * \cos(\Delta * \pi / 180)^3 * V^3 \dots(4-2)$$

Torsi turbin angin diperoleh dengan persamaan:

$$Q = 21,371 * V^2 * C_q * \cos(\Delta * \pi / 180)^2 \dots(4-3)$$

Substitusi C_p dan C_q untuk berbagai kecepatan angin dan λ , diperoleh kurva P-n dan C_q -n seperti diperlihatkan pada Gambar 4-2a dan 4-2b.

Untuk mendapatkan hasil pemompaan yang optimum, sesuai dengan potensi energi angin setempat dan tinggi total pemompaan (Head total), diperlukan kesesuaian antara kemampuan torsi rotor turbin angin dengan karakteristik pompa yang digunakan.

Untuk mendapatkan tipe dan kapasitas pompa *summersible* yang sesuai, telah dilakukan seleksi terhadap beberapa tipe dan kapasitas pompa Grundfos SP5A-6, SP5A-8 dan SP5A-12. Gambar 4-3a, 4-3b dan 4-3c memperlihatkan karakteristik pompa tersebut, dan salah satu tipe pompa terpilih, yang memenuhi persyaratan: besarnya daya, kapasitas (debit) dan tinggi pemompaan (Head), yakni SP 5A-8 dengan kondisi sebagai berikut:

- Kecepatan angin : 3 - 9 m/s
- Tinggi hidraulik (head) : 15- 30 m
- Kapasitas pemompaan : 6,3 m³/s , H: 20 m

Kedalaman sumur di BBUG Samas, adalah 20m, dan nilai ini berada dalam daerah perhitungan.

Kurva daya untuk ketiga jenis pompa diperlihatkan pada Gambar 4-4a, 4-4b dan 4-4c. Gambar 4-4b yakni pompa yang dipilih (tipe SP 5A-8) menghasilkan pilihan yang paling sesuai.

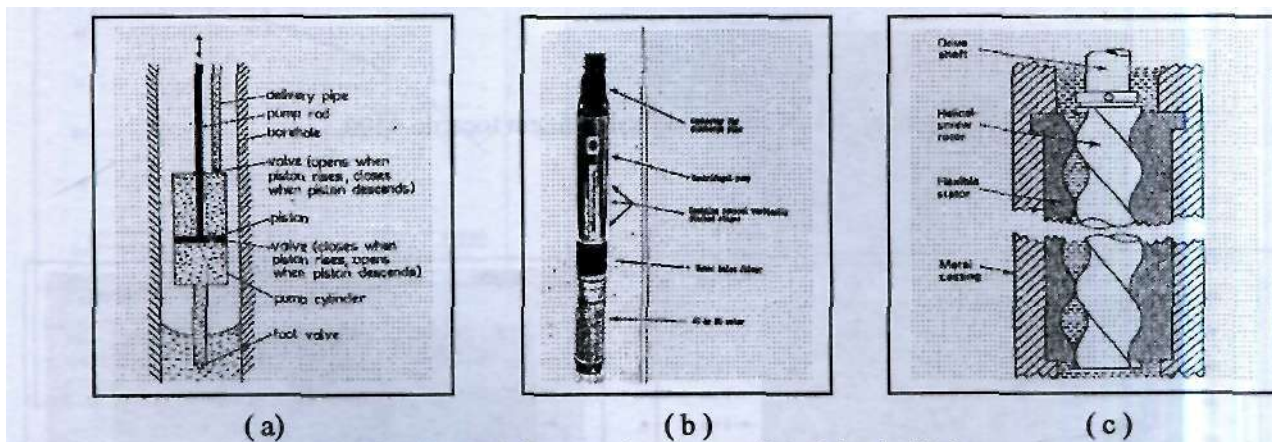
5. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan optimasi, dapat diperoleh beberapa hal berkaitan dengan konfigurasi optimum dari uji coba pemanfaatan turbin angin pemompaan di Samas, antara lain:

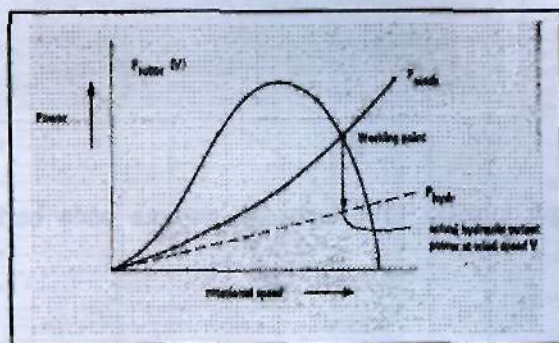
- Karakteristik daya pompa dasarnya dapat diperoleh dari penjual; akan tetapi persamaan matematis diperoleh dari fabrikasi dan bukan hal yang mudah. Terdapat berbagai pilihan produk dengan ukuran, kapasitas, head, dan lain-lain yang berbeda.
- Pompa tipe SP5A-8 akan berfungsi baik digandengkan dengan turbin angin untuk daerah operasional kecepatan angin 3 - 9 m/s dan tinggi pemompaan 15 meter.
- Optimasi dimaksudkan sebagai kondisi ideal untuk kompromi antara biaya dan perangkat pompa. Dalam prakteknya kondisi ideal tidak selalu tersedia, sehingga memerlukan pendekatan yang lebih praktis dari produk pompa yang tersedia.
- Pada kecepatan angin di atas 9 m/s, frekuensi pompa telah mencapai di atas 60 Hz, sehingga harus dilakukan pengaturan agar terjaga dari kerusakan.

DAFTAR RUJUKAN

- Bustraan P, LWP Bianchi, 1983, *Pompa*, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- E.H.Lysen, 1982, *Introduction to Wind Energy*; SWD, Netherlands.
- Joop Van Meel, Paul Smulders, 1982, *Wind Pumping Handbook*, The World Bank, Washington DC.
- J.T.G Pierik, 1982, *Tocado 4500 Wind Turbine*, ECN -CX-00-093, Petten The Netherlands.
- No name, *The Tocardo 4500 a 3,5 kW Wind Turbine Sustainable Wind Energy*, Teamwork Technology BV The Netherlands.
- Soeripno, 1982, *Turbin Angin Tocardo 4500 Desain FUosofi, Pemasangan dan Pengujian di Santas Bantul DIY*, JanNas, Vol. 4, No. 2.



Gambar 2-1: Pompa piston, sentrifugal dan helikal

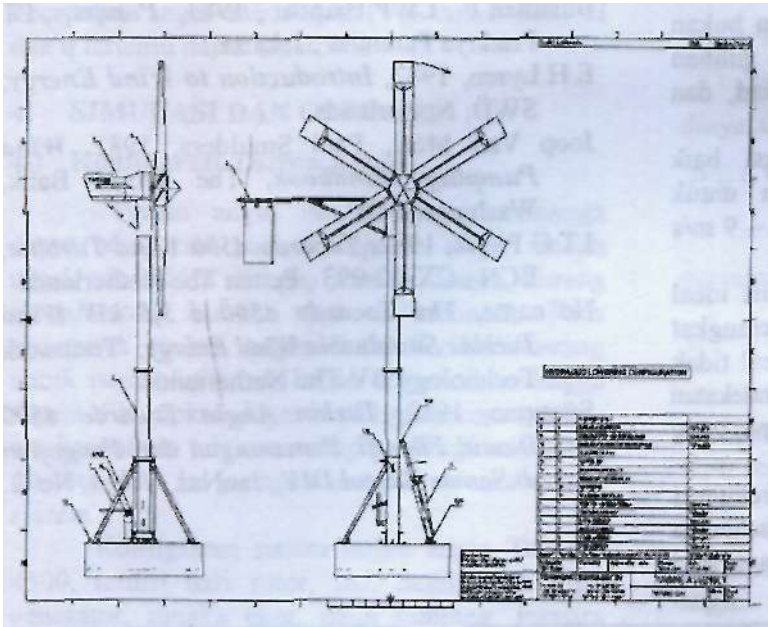


Keterangan : A : titik kerja

P_n : Daya netto ($P_{mech} - P_{hyd}$)

P_{mech} : Daya pompa

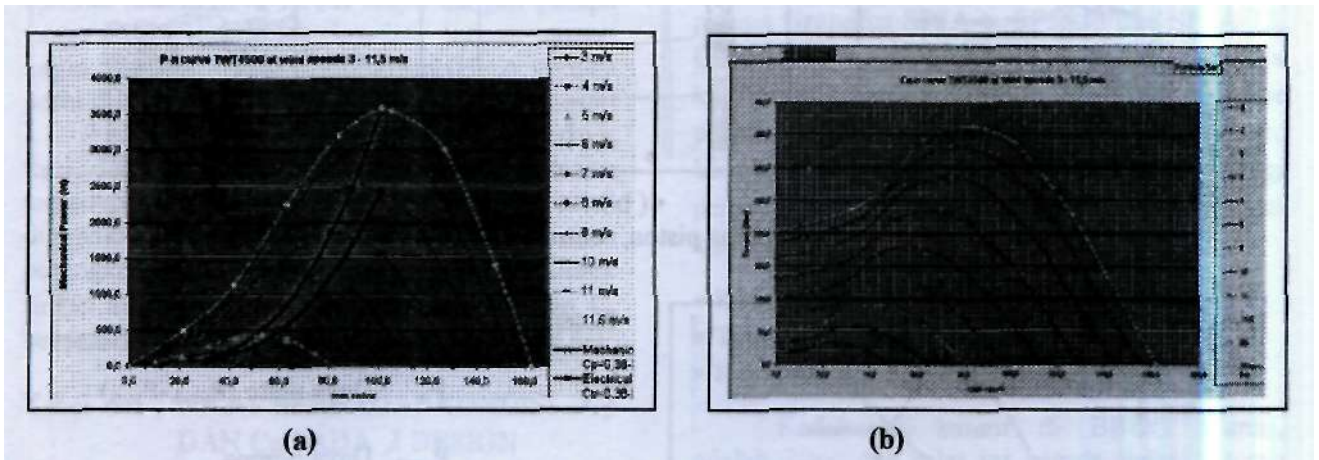
Gambar 3-1: Titik kerja turbin angin dan pompa dan daya hidrolis



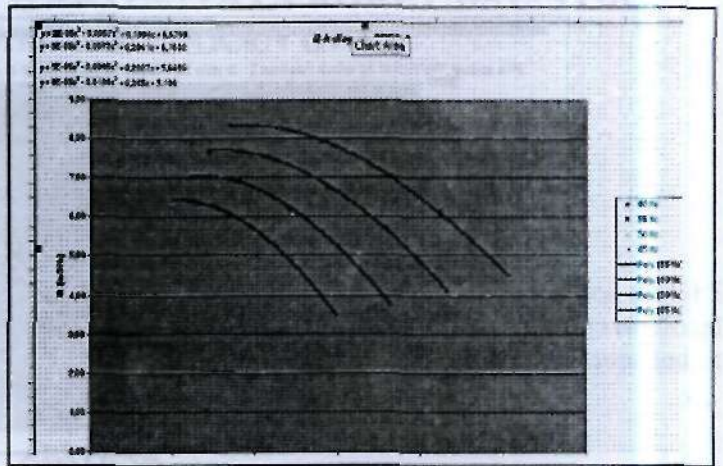
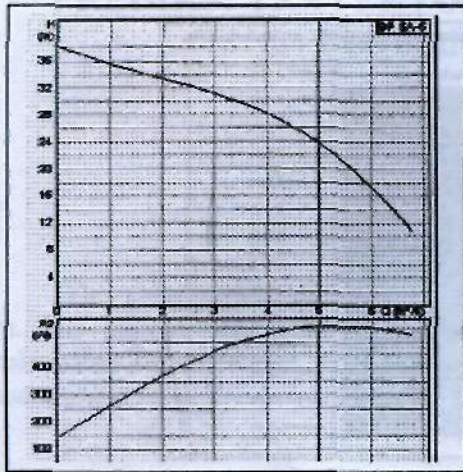
Spesifikasi Sistem:

- Profil sudu : pelat lengkung
- Diameter : 4,5 meter
- Jumlah sudu : 6 buah
- Kec. Angin operasional :
 - V cut-in : 3,5 m/s
 - V rated : 10 m/s
 - V cut-out : 34 m/s
- Daya nominal: 3,5 kW
- Generator : 4 kW
- Ratio gear : 22,5
- Tipe menara : tubular
- Tinggi menara: 9 meter
- Pompa : 1,1 kW summersible pump

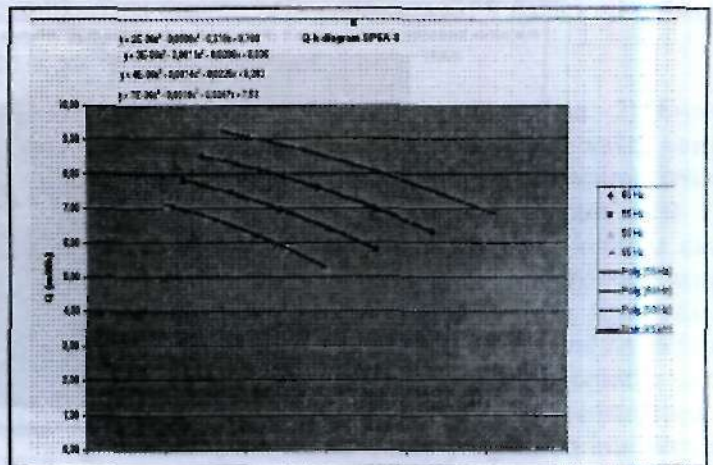
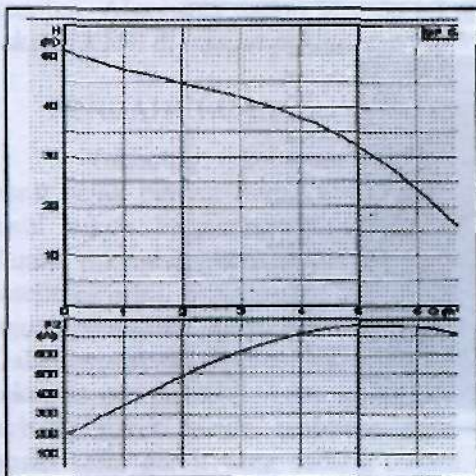
Gambar 4-1: Konfigurasi turbin angin tocardo 4500



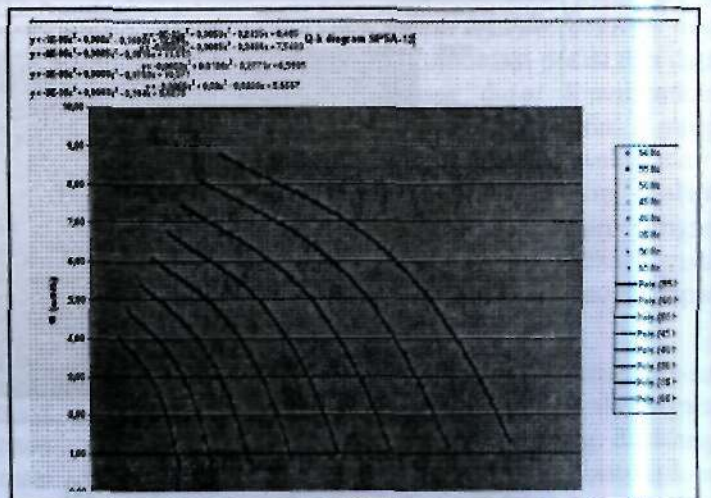
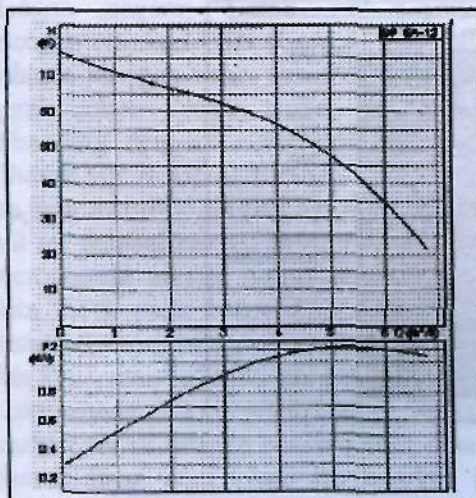
Gambar 4-2: karakteristik daya dan torsi turbin angin tocardo 4500 terhadap putaran pada berbagai kecepatan angin



(a)

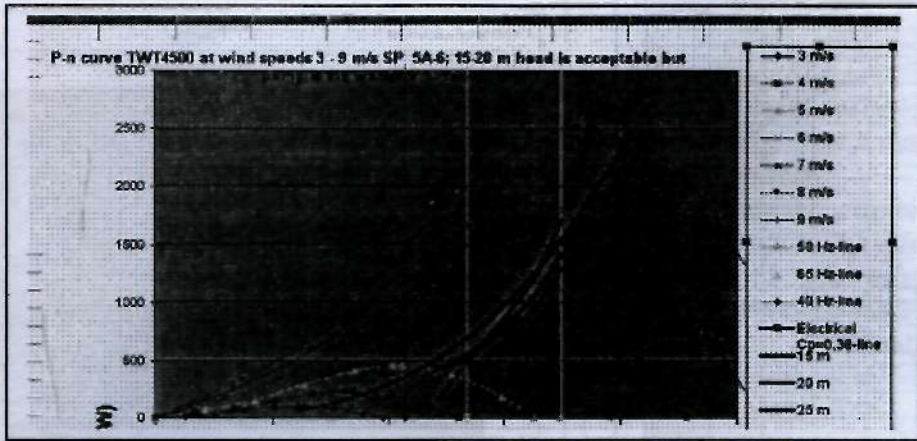


(b)

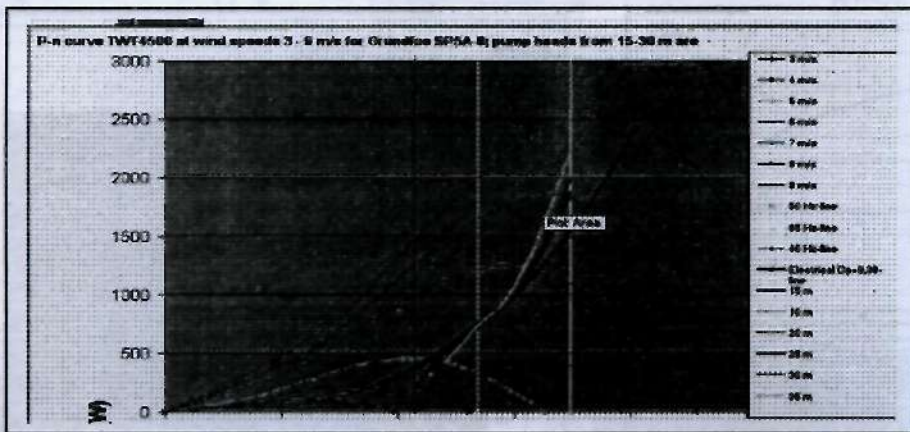


(c)

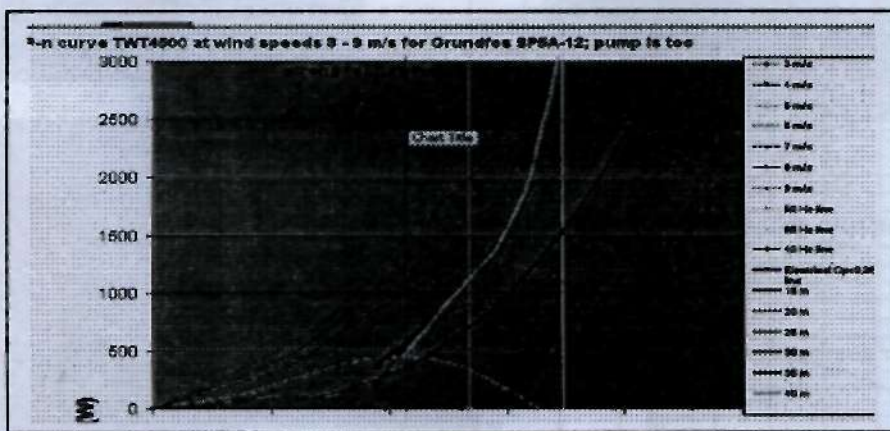
Gambar 4-3: Karakteristik pompa SP5A-6 , SP5A-8, dan SP5A12 serta grafik Q-h



(a)



(b)



(c)

Gambar 4-4: Kurva P-n dan pompa