

## PEMANFAATAN SUMBER DAYA ANGIN UNTUK POMPA AIR IRIGASI RAMAH LINGKUNGAN

**Benny Syahputra**

Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung  
Jl. Raya Kaligawe Km. 04 50112 Telp.024-6583584  
E-mail : abu\_fadiyah@yahoo.com

### *Abstrak*

*Rawa Setro di Desa Gedangan Kabupaten Rembang memiliki luas  $\pm 10$  ha dengan kedalaman air  $\pm 6$  meter. Air rawa ini sangat melimpah bahkan tidak habis selama musim kemarau, namun letaknya lebih rendah dari lahan pertanian, sehingga diperlukan pompa untuk menaikkan air ke sawah. Mengandalkan pompa mesin untuk menaikkan air akan terlalu banyak biaya yang diperlukan untuk pemeliharaan tanaman hingga saat panen. Menurut data Balai Lingkungan Penelitian Pertanian (2010) bahwa kecepatan angin rata-rata tahunan areal pertanian di Desa Gedangan Kabupaten Rembang memiliki kecepatan angin minimal 2,3 m/s dan kecepatan angin maksimal 9,2 m/s. Berdasarkan data tersebut sumber energi alam di daerah Desa Gedangan sangat memungkinkan digunakan sebagai sumber energi untuk pompa air tenaga angin.*

*Tujuan dari penelitian ini adalah mendesain sebuah pompa air dengan tenaga angin untuk pemanfaatan irigasi sawah dengan membuat rancangan yang berbasis teknologi tepat guna.*

*Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah perpaduan antara perancangan dan eksperimental. Pada pengujian eksperimental dicari hubungan antara variabel bebas (berupa kecepatan angin dan kecepatan putaran kincir dari variasi diameter sudu) dengan variabel terikat berupa besarnya debit air dari pompa yang dibuat.*

*Hasil penelitian menghasilkan rumus-rumus : luas daun ekor kincir minimal ( $Le_{min}$ ) =  $1/7 \times \pi \times r^2$ , panjang tangkai ekor kincir minimal ( $Pt_{min}$ ) =  $Ds - Pa_{min} = (2 \times r) - Pa_{min}$  dan panjang ekor kincir ( $Pe$ ) =  $2 \times r = Ds$ . Hasil pengujian alat membuktikan bahwa pemodelan ini menghasilkan debit air maksimal 0,07 ltr/s dan pompa dapat mulai beroperasi pada kecepatan angin minimal 2,5 m/s.*

***Kata kunci** : pompa air; tenaga angin; irigasi*

### **Pendahuluan**

Kegiatan bercocok tanam tak terpisahkan dengan tersedianya pengairan yang mencukupi. Air merupakan suatu kebutuhan yang sangat vital bagi kehidupan, begitu pula dengan tanaman memerlukan air untuk pertumbuhan dari mulai ditanam hingga dipanen. Pemeliharaan tanaman di musim hujan memang tidak masalah, ketersediaan air berlimpah. Namun bila musim kemarau tiba air menjadi barang berharga dan menjadi langka. Seperti halnya di Desa Gedangan Kab. Rembang, saat musim tanam pertama petani tidak mengalami masalah dengan air karena penanaman dilakukan pada musim penghujan. Ketika musim tanam kedua munculah permasalahan dengan air. Air mulai langka saat pertengahan musim tanam kedua karena terjadi peralihan musim, dari musim penghujan ke musim kemarau. Sawah menjadi kering, bahkan dapat mengakibatkan semua tanaman mati karena tidak mendapatkan air.

Petani Desa Gedangan harus berupaya mendapatkan air untuk menyelamatkan tanamannya. Mereka biasanya menyewa mesin pompa air untuk memperoleh air yang diambil dari rawa yaitu Rawa Setro. Rawa ini mulai dibangun tahun 1970 dan diresmikan tahun 1972 oleh Ir. Soetami yang menjabat sebagai menteri pekerjaan umum. Awalnya tujuan pembangunan Rawa Setro adalah untuk sumber air baku bagi PDAM daerah kabupaten Rembang. Seiring perkembangan zaman dan pertumbuhan jumlah penduduk, maka perlu dilakukan penemuan sumber air baku baru yang lebih baik dan memenuhi syarat.

Sekitar awal tahun 1990 telah ditemukan sumber air baku baru yang berasal dari Pamotan dan Sale, maka pemanfaatan Rawa Setro sebagai sumber air baku dihentikan karena tidak memenuhi syarat dari segi kualitas, kontinuitas, kuantitas dan kelayakan keuangan. Rawa Setro memiliki luas  $\pm 10$  ha dengan kedalaman air  $\pm 6$  meter. Pada tahun 2005 pemerintah melakukan pembangunan kembali dan melakukan pengerukan rawa karena akan dialih fungsikan untuk pertanian sebagai sumber irigasi sawah bagi masyarakat sekitarnya. Pembangunan Rawa Setro kembali bertujuan untuk menambah kapasitas air agar lebih besar dari sebelumnya (BAPPEDA, 2010). Air di rawa ini sangat melimpah bahkan tidak habis selama musim kemarau, namun letaknya lebih rendah dari lahan pertanian,

sehingga diperlukan sebuah pompa untuk menaikkan air ke sawah. Mengandalkan pompa mesin untuk menaikkan air akan terlalu banyak biaya yang diperlukan untuk pemeliharaan tanaman hingga saat panen.

Kondisi ini memang menyulitkan bagi petani di Desa Gedangan karena jika mereka menyewa pompa untuk mendapatkan air biayanya tinggi dan mengalami kerugian, apalagi jika tanaman dibiarkan mati maka kerugian yang dialami semakin bertambah besar. Hal ini perlu sebuah solusi supaya petani di Desa Gedangan tidak merugi akibat tingginya pengeluaran biaya untuk memperoleh air dari rawa sebagai irigasi sawahnya. Berdasarkan teknologi tepat guna ada beberapa jenis pompa yang tidak memerlukan mesin dan bahan bakar seperti pompa tenaga air, pompa tenaga angin dan pompa tenaga surya, sehingga biayanya tidak terlalu tinggi.

Menurut data Balai Lingkungan Penelitian Pertanian (2010) bahwa kecepatan angin rata-rata tahunan areal pertanian di Desa Gedangan memiliki kecepatan angin minimal 2,3 m/s dan kecepatan angin maksimal 9,2 m/s. berdasarkan data tersebut sumber energi alam di daerah Desa Gedangan yang memungkinkan untuk digunakan sebagai sumber energi untuk pompa air yaitu memanfaatkan angin, untuk membuat sebuah pompa air menggunakan tenaga angin sebagai sumber energi penggeraknya perlu dibuat sebuah model yang sederhana dan aplikatif untuk menguji tingkat keberhasilan, sehingga masyarakat dapat meniru dan membuatnya.

## Metode Penelitian

### Tempat dan Waktu Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di areal persawahan dekat Rawa Setro Desa Gedangan Kec./Kab. Rembang. Waktu Pelaksanaan pengujian alat dilakukan selama 24 jam selama satu hari. Pengukuran kecepatan angin dan kecepatan putaran kincir dilakukan dalam interval selang waktu 3 jam selama penelitian.

### Bahan dan Alat Penelitian

Persiapan meliputi pemilihan dan penentuan bahan yang akan digunakan dalam pembuatan prototipe, alat-alat yang akan digunakan untuk membuat maupun untuk pengambilan data yang akan di gunakan dalam pengujian. Dalam perancangan ini perlu dipersiapkan bahan dan alat diantaranya :

#### 1. Bahan

- a. Sudu kincir dipilih dari bahan fiber.
- b. Jari-jari kincir terbuat dari kayu ukuran 1,5 cm x 2 cm
- c. Puli dari kayu dengan tebal 1,5 cm diameter 15 cm
- d. Bantalan (*bearing*) dari lempengan besi lebar 3 cm tebal 2mm
- e. Poros dari besi
- f. Ekor dari fiber
- g. Menara/tower dari besi baja L ukuran 3 cm x 3 cm dan tebal 2 mm
- h. Roda gigi payung dari besi
- i. Tangkai pompa dari besi
- j. Klep dari karet dan plastik
- k. Pompa dari paralon ukuran 3/4 inchi
- l. As dari besi
- m. Penampung air (Corong) dari plastik
- n. Engkol dari besi

#### 2. Alat

Alat yang digunakan untuk pembuatan prototipe :

- |                      |                          |
|----------------------|--------------------------|
| a. Mesin bubut       | h. Gergaji besi dan kayu |
| b. Mesin las listrik | i Kunci ring             |
| c. Mesin bor         | j. Kunci pas             |
| d. Mesin gerinda     | k. Kunci <i>shock</i>    |
| e. Obeng             | l. Tang                  |
| f. Meteran           | m. Perlengkapan cat      |
| g. Palu Amplas       | n. Gergaji besi dan kayu |

Sedangkan Alat untuk pengambilan data

- a. Anemometer untuk mengukur kecepatan angin
- b. Tachometer untuk mengukur kecepatan putaran kincir

### Pembuatan Alat Penelitian

#### 1. Pembuatan Kincir

Kincir yang akan dibuat yaitu kincir dengan jumlah sudu sebanyak 12 buah dengan bentuk taper linier terbalik.

## 2. Pembuatan Piston

Piston dibuat sedemikian hingga, bagian tangkai piston dihubungkan dengan engkol yang didesain khusus sehingga dapat menghasilkan gerakan bolak-balik keatas dan kebawah. Gerakan tersebut bertujuan untuk memindahkan air dari bawah keatas lalu ditampung pada corong dan dialirkan pada pipa *out put*. Bagian engkol akan dihubungkan dengan roda gigi bagian bawah yang dirancang khusus, sehingga ketika roda gigi berputar piston juga akan ikut bergerak.

## 3. Pembuatan Tower/Menara

Tower/Menara merupakan rangkaian penegak yang terdiri dari rangka baja/kayu/bambu/bahan lain yang kuat dan kokoh dan merupakan tempat peletakan kincir dan pompa. Tower/Menara dalam protipe ini adalah dari bahan besi baja tipe L berkaki 4.

## 4. Perakitan Semua Komponen

Perakitan merupakan penggabungan dari semua komponen kincir, pompa dan kerangka sehingga terbentuk sebuah protipe yang utuh.

## 5. Pengujian Alat dan Pengambilan Data

a. Pengujian yang dilakukan terhadap protipe pompa yang telah dibuat yaitu :

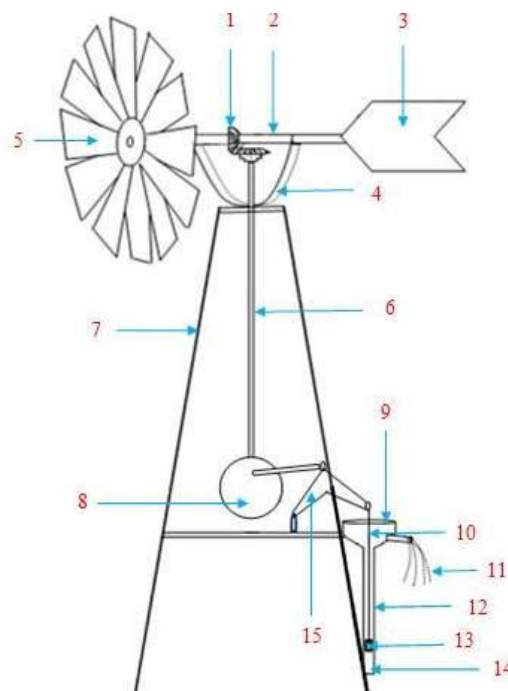
- 1) Pengujian besarnya debit yang dihasilkan pompa berdasarkan besarnya kecepatan angin
- 2) Pengujian besarnya debit berdasarkan besarnya putaran kincir yang dihasilkan dari variasi diameter sudu yaitu dari 40 cm, 50 cm, 60 cm, 70 cm, 80 cm, 90 cm, 100 cm, 110 cm, 120 cm, 130 cm.

b. Pengambilan data terdiri dari :

- 1) Pengukuran kecepatan angin dengan Anemometer
- 2) Pengukuran besarnya putaran kincir dengan Tachometer
- 3) Pengukuran besarnya debit air yang dihasilkan oleh pompa

## Rancangan Alat

Rancangan alat pompa air tenaga angin yang akan dibuat dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 1. Desain Alat

Keterangan Gambar :

1. Gear/roda gigi atas
2. Poros
3. Ekor
4. Bearing/bantalan
5. Kincir
6. As
7. Tower/menara
8. Gear/roda gigi bawah
9. Penampung air (Corong)
10. Tangkai pompa
11. Air
12. Pipa PVC
13. Klep karet
14. Klep plastik
15. Engkol

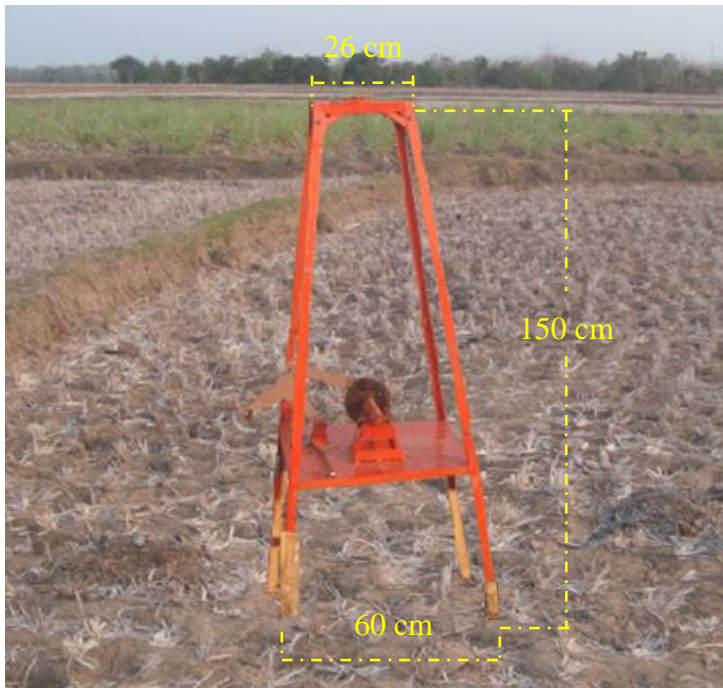
## Hasil dan Pembahasan

### Desain Menara/Tower

Rangka menara/tower dibuat sekuat mungkin berbentuk segiempat bahan dari plat besi dengan tinggi 1,5 meter. Untuk lebih jelasnya mengenai dimensi menara/tower dapat dilihat pada Gambar 2.

Desain menara/tower dengan empat kaki bertujuan agar menara/tower mampu menopang kincir dengan baik sehingga aman. Hasil pengujian dilapangan membuktikan bahwa untuk mendesain menara dengan empat kaki harus mempertimbangkan hal-hal seperti lebar, tinggi, dasar menara dan bahan menara harus kuat demi keamanan serta

keberhasilan. Hal ini senada dengan Alamsyah (2007) dalam skripsinya yang berjudul pemanfaatan turbin angin dua sudu sebagai penggerak mula alternator pada pembangkit listrik tenaga angin.



**Gambar 2. Menara/Tower**

Ternyata perancangan menara/tower dengan lebar 60 cm dalam kondisi tertentu menara/tower dapat roboh karena terjangkit badai angin, sehingga dilakukan pemasangan patok pada tiang menara/tower. Jika pompa ini hendak dibuat dalam skala besar maka menara/tower harus dirancang dengan lebar yang memadai, pemasangan patok pada tiang cukup membantu untuk menjaga keamanan dan jika perlu dilakukan pemasangan pondasi. Bahan menara/tower tidak harus menggunakan besi baja namun dapat diganti dengan kayu atau bambu sesuai dengan kondisi setempat sehingga biaya tidak terlalu mahal.

**Desain Ekor Kincir**

Ekor kincir merupakan komponen dari alat yang terdiri dari tangkai ekor dan daun ekor. Berfungsi untuk menyeimbangkan kincir dan pemindah arah kincir dari posisi satu sampai posisi yang lain dengan arah putaran 360°, sehingga kincir dapat bebas berputar arah menyesuaikan arah tiupan angin. Rancangan ini memudahkan kincir dapat berputar secara terus menerus sepanjang angin berhembus walaupun angin berputar arah. Panjang dan luas ekor harus memiliki keseimbangan yang tepat, agar alat yang dirancang dapat beroperasi dengan maksimal tanpa kendala.

Berdasarkan hasil eksperimen di lapangan, untuk merancang panjang dan luas ekor dapat menggunakan rumus berikut :

Perhitungan panjang dan luas ekor berdasarkan panjang jari-jari sudu (r), sehingga panjang dan luas ekor dapat dihitung sebagai berikut :

a. Luas daun ekor (Le)

Untuk merancang luas daun ekor dapat melihat luas dari lingkaran sudu, dengan rumus luas lingkaran  $\pi r^2$  dikalikan dengan koefisien tertentu, dimana r adalah jari-jari sudu. Berdasarkan hasil eksperimen yang telah dilakukan luas daun ekor dapat dibuat rumus baru sebagai berikut :

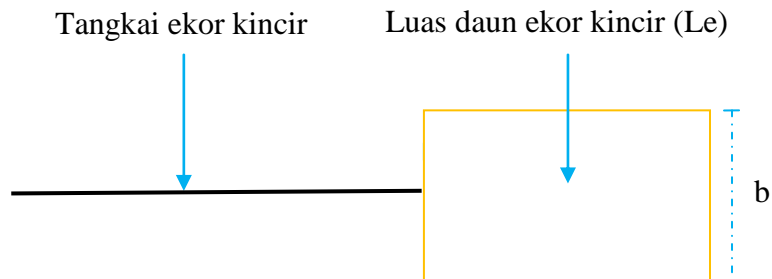
$$\text{Luas daun ekor (Le)} = \pi \times r^2 \times n \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

- Le = Luas daun ekor (cm<sup>2</sup>)
- $\pi$  = 3,14
- n = koefisien (1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7)
- r = panjang jari-jari sudu (cm)

Untuk mendesain daun ekor hal yang utama adalah menghitung luas minimal daun ekor yang dirancang. Dalam rumus luas daun ekor terdapat koefisien (n) yaitu bilangan (1/2, 1/3, 1/4, 1/5, 1/6, 1/7), angka ini diambil untuk

mencari koefisien minimal luas daun ekor dari luas suatu lingkaran yang dibentuk oleh jari-jari sudu. Ternyata hasil menunjukkan bahwa nilai koefisien 1/7 adalah koefisien minimal untuk mendesain luas daun ekor. Semakin besar koefisiennya maka keseimbangan kincir akan semakin kuat karena luas daun ekor semakin besar, namun dengan semakin luasnya daun ekor juga akan memperbesar biaya pembuatannya sehingga perlu menentukan luas daun ekor minimal agar kincir dapat setimbang dengan biaya ringan namun hasilnya sudah cukup baik.



Gambar 3. Sket Luas Daun Ekor Kincir

Dari nilai koefisien tersebut, luas daun ekor minimal dapat dibuat rumus baru:

$$(Le_{\min} = 1/7 \times \pi \times r^2) \quad (2)$$

Dengan

$Le_{\min}$  = luas daun ekor minimal (cm<sup>2</sup>)

1/7 = koefisien

Jadi dari uraian tersebut dapat tuliskan rumus :

1) Luas daun ekor

$$Le = \pi \times r^2 \times n \quad (3)$$

2) Luas daun ekor minimal

$$Le_{\min} = 1/7 \times \pi \times r^2 \quad (4)$$

Rumus ini digunakan untuk mendesain daun ekor dengan bentuk persegi panjang dengan perbandingan panjang x lebar adalah 2 : 1, dari Gambar 3 dapat dituliskan a:b = 2:1.

Berdasarkan rumus tersebut dan mengacu Gambar 3 dapat dihitung besarnya luas daun ekor kincir minimal yang harus dipenuhi dari berbagai ukuran kincir berdasarkan jari-jarinya sebagai berikut :

Tabel 1. Luas Daun Ekor Kincir Minimal Berbagai Ukuran Kincir Berdasarkan Jari-Jarinya

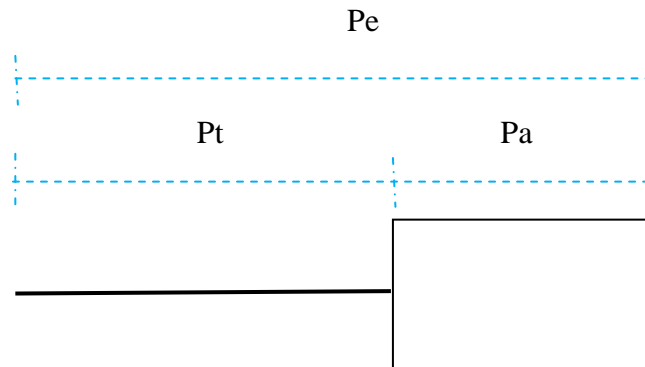
No	Panjang jari-jari r (cm)	Luas daun ekor minimal $Le_{\min} = 1/7 \times \pi \times r^2$ (cm <sup>2</sup> )	Panjang sisi daun ekor a (cm)	Panjang sisi daun ekor b (cm)
1	20	179	18,9	9,46
2	25	280	23,6	11,8
3	30	403	28,3	14,1
4	35	549	33,1	16,5
5	40	717	37,8	18,9
6	45	907	42,5	21,2
7	50	1120	47,3	23,6
8	55	1355	52,1	26,1
9	60	1613	56,7	28,3
10	65	1893	61,5	30,7

Sumber : Hasil analisis, 2012

Dari Tabel 1 dapat diketahui luas daun ekor minimal, panjang sisi a dan b minimal. Panjang sisi a ini adalah panjang daun ekor kincir minimal atau disebut dengan ( $Pa_{\min}$ ) dan digunakan untuk menentukan panjang ekor

kincir ( $P_e$ ). Untuk membuat luas daun ekor kincir untuk kincir yang paling besar dengan jari-jari sudu 65 cm sebesar  $1893 \text{ cm}^2$ . Dengan panjang sisi a sebesar 61,5 cm dan sisi b sebesar 30,7 cm.

b. Panjang ekor ( $P_e$ )



Gambar 4. Sket Panjang Ekor Kincir

$$P_e = P_t + P_a \quad (5)$$

Dengan

- $P_e$  = panjang ekor (cm)
- $P_t$  = panjang tangkai ekor (cm)
- $P_a$  = panjang daun ekor (cm)

Untuk menentukan panjang tangkai ekor ( $P_t$ ) dapat menggunakan rumus berikut :

$$P_t = D_s \times n = (2xr) \times n \quad (6)$$

Dengan

- $D_s$  = diameter sudu (cm)
- $r$  = panjang jari-jari sudu (cm)
- $n$  = koefisien (1/4, 1/3, 1/2, 3/4, 1)

Mendesain panjang tangkai ekor ( $P_t$ ) dasar yang digunakan adalah panjang jari-jari sudu kincir. Dalam rumus panjang tangkai ekor terdapat koefisien ( $n$ ) yaitu bilangan (1/4, 1/3, 1/2, 3/4, 1), angka ini diambil untuk mencari koefisien minimal panjang tangkai ekor dari diameter sudu yang dibentuk oleh jari-jari sudu kincir. Ternyata pada percobaan membuktikan nilai  $n$  adalah koefisien yang sesuai untuk mendesain panjang tangkai ekor, maka dari koefisien itu dapat disimpulkan bahwa panjang tangkai ekor kincir sama dengan dua kali jari-jari sudu kincir atau sama dengan diameter sudu dan dapat dibuat rumus baru:

$$P_t = (2xr) = D_s \quad (7)$$

Hal yang sama juga dilakukan dalam menentukan panjang tangkai ekor perlu diketahui berapa panjang tangkai ekor minimal yang harus dipenuhi untuk merancang ekor kincir. Hasil percobaan menemukan bahwa panjang tangkai ekor minimal adalah diameter sudu atau dua kali panjang jari-jari sudu dikurangi panjang daun ekor minimal dengan bentuk ekor persegi panjang dan perbandingan panjang : lebar = 2:1, atau dapat dituliskan panjang tangkai ekor minimal :

$$P_{t_{\min}} = D_s - P_{a_{\min}} = (2 \times r) - P_{a_{\min}} \quad (8)$$

Jadi untuk menghitung panjang ekor kincir ( $P_e$ ) merupakan jumlah dari panjang tangkai ekor minimal ( $P_{t_{\min}}$ ) dan panjang daun ekor kincir minimal ( $P_{a_{\min}}$ ), dimana  $P_{a_{\min}}$  diperoleh dari hasil  $L_{e_{\min}}$ . Dari uraian tersebut dapat disimpulkan rumus panjang ekor kincir:

$$\begin{aligned} P_e &= P_{t_{\min}} + P_{a_{\min}} \\ &= (D_s - P_{a_{\min}}) + P_{a_{\min}} \\ &= D_s \end{aligned}$$

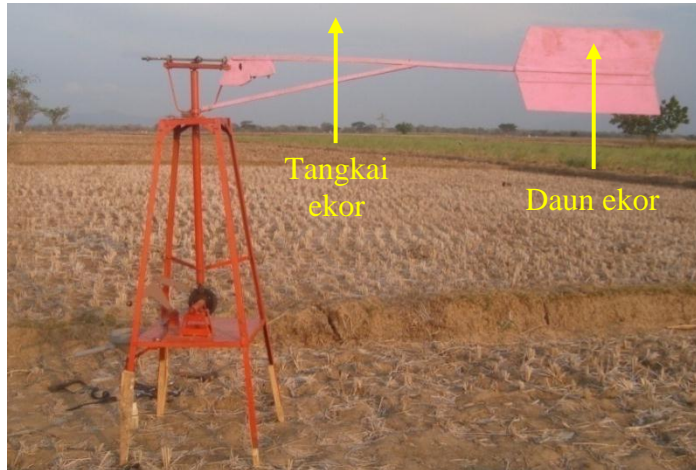
Jadi

Panjang ekor = 2 kali panjang jari-jari sudu kincir = diameter sudu kincir

$$P_e = 2 \times r = D_s(9)$$

Berdasarkan rumus tersebut dapat diketahui bahwa panjang ekor sama dengan 2 kali panjang jari-jari sudu kincir, sehingga untuk kincir yang terbesar dengan panjang jari-jari sudu 65 cm maka panjang ekor kincirnya 130 cm.

Rancangan ekor yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 5. Rangkaian Ekor

### Perakitan Semua Komponen

Proses perakitan merupakan suatu proses penggabungan komponen-komponen pompa menjadi suatu kesatuan, sehingga menjadi sebuah alat yang siap digunakan sesuai tujuan. Langkah awal yang dilakukan adalah melakukan pengecekan komponen-komponen yang hendak dirakit dan menyiapkan alat bantu. Langkah perakitan yang tepat akan mempermudah dan mempercepat proses perakitan serta menjamin keberhasilan. Komponen-komponen alat meliputi kincir, as, gear/roda gigi, pompa, ekor dan menara/tower. Rangkaian alat yang sudah jadi dapat dilihat pada gambar berikut ini :



Gambar 6. Prototipe Pompa Air Tenaga Angin

### Hasil Perancangan Pompa Air Tenaga Angin Kecepatan Angin

Pengukuran kecepatan angin dilapangan menggunakan Anemometer digital dalam satuan m/s, berikut adalah gambar pengukuran kecepatan angin dilapangan. Hasil pengukuran kecepatan angin dilokasi penelitian dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. Hasil Pengukuran Kecepatan Angin Dilapangan

No	Jam (WIB)	Kecepatan Angin (m/s)
1	06.00	2,5
2	09.00	4,7
3	12.00	6,9
4	15.00	8,1
5	18.00	2,7
6	21.00	2,1
7	00.00	1,46
8	03.00	1,52

Sumber : Hasil analisis, 2012

Berdasarkan data dalam Tabel 5.2 dapat kita ketahui bahwa kecepatan angin rata-rata pada saat pengukuran dilokasi penelitian yaitu sebesar 3,75 m/s. Kecepatan angin tertinggi terjadi pada pukul 15.00 WIB dan terendah pada pukul 03.00 WIB. Kecepatan angin untuk malam hari rata-rata dibawah 2,5m/s, sehingga pompa air tenaga angin ini hanya efektif pada siang hari karena pompa dirancang untuk bekerja dalam kecepatan angin minimal 2,5 m/s.

### Kecepatan Putaran Kincir dan besarnya Debit

Pengukuran kecepatan putaran poros kincir menggunakan alat *Tachometer* digital dalam satuan Rpm. Sedangkan pengukuran besarnya debit air pada pompa menggunakan ember/gelas ukur.pengujian dilakukan terhadap 10 variasi diameter sudu yang telah dirancang.

Langkah dalam pengukuran putaran poros kincir yaitu memasang kertas khusus untuk mendeteksi kecepatan putaran pada poros kincir. Saat kincir mulai berputar tekan tombol *test* pada *Tachometer* lalu arahkan sinar infra merah pada poros yang sudah diberi tanda, maka hasil putaran akan terlihat pada layar digital. Hasil pengukuran kecepatan putaran poros kincir dan hasil pengukuran debit air sesuai waktu pengujian dengan 10 variasi ukuran diameter sudu kincir disajikan dalam lampiran table.

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pemodelan pompa air tenaga angin ini dan dari hasil uji alat tersebut diperoleh beberapa kesimpulan :

1. Diperoleh rumus-rumus baru untuk merancang komponen-komponen pompa air tenaga angin :

a. Luas daun ekor kincir minimal :

$$(Le_{min}) = 1/7 \times \pi \times r^2$$

Dengan :

$Le_{min}$  = luas daun ekor minimal (cm)

1/7 = koefisien

$\pi$  = 3,14

r = jari-jari sudu (cm)

b. Panjang tangkai ekor kincir minimal :

$$(Pt_{min}) = Ds - Pa_{min} = (2 \times r) - Pa_{min}$$

Dimana :

$Pt_{min}$  = panjang tangkai ekor minimal (cm)

$Pa_{min}$  = panjang daun ekor kincir minimal (cm)

Ds = diameter sudu kincir (cm)

c. Panjang ekor kincir :

$$Pe = 2 \times r = Ds$$

Dengan :

Pe = panjang ekor kincir (cm)

2. Pompa menghasilkan debit air terbesar 0,07 ltr/s pada diameter sudu kincir 1 meter.

3. Pompa mulai berfungsi dengan kecepatan angin minimal 2,5 m/s.



4. Hasil uji anova menunjukkan bahwa rata-rata debit air yang dipengaruhi diameter sudu dan kecepatan angin adalah berbeda. Nilai *R Adjusted* sebesar 0,772 berarti variabilitas debit air yang dapat dipengaruhi oleh variabel diameter sudu dan kecepatan angin sebesar 77,2%.

#### **Saran**

1. Rumus-rumus baru yang diperoleh dari pemodelan ini diharapkan dapat dipakai sebagai acuan untuk merancang pompa air tenaga angin atau sejenisnya.
2. Untuk meningkatkan debit air dari pompa ini perlu ada penelitian lebih lanjut terhadap variasi tinggi kincir.
3. Supaya pompa dapat bekerja pada kecepatan angin rendah perlu memperhatikan diameter sudu kincir, sudut serong sudu kincir, jumlah sudu kincir dan bahan/material kincir.

#### **Daftar Pustaka**

Argaw, N; R. Foster and A. Ellis (2003). *Renewable Energy for Water Pumping Applications in Rural Villages*. NREL (National Renewable Energy Laboratory). Colorado.

Balai Lingkungan Penelitian Pertanian. 2010. *Laporan Rencana Pengembangan dan Budidaya Tanaman Pertanian Kabupaten Rembang*. Rembang.

BAPPEDA. 2010. *Profil Rawa Setro dan Pemanfaatan Sumber Daya Air Rawa Untuk Irigasi Sawah*. Rembang

Farret, Felix A and M. Godoy Simoes. 2006. *Integartion of Alternative Sources of Energy*. John Wiley & Sons Inc. New Jersey.

**Lampiran 1. Hasil Pengukuran Kecepatan Putaran Poros Kincir dan Besarnya Debit Air  
Berdasarkan Kecepatan Angin Dari Diameter Sudu 40 cm Sampai 130 cm**

	w (WIB)		Diameter sudu																			
			40cm		50 cm		60 cm		70 cm		80 cm		90 cm		100 cm		110 cm		120 cm		130 cm	
			Kp (Rpm)	Q (ltr/s)	Kp (Rpm)	Q (ltr/s)	Kp (Rpm)	Q (ltr/s)	Kp (Rpm)	Q (ltr/s)	Kp (Rpm)	Q (ltr/s)	Kp (Rpm)	Q (ltr/s)	Kp (Rpm)	Q (ltr/s)	Kp (Rpm)	Q (ltr/s)	Kp (Rpm)	Q (ltr/s)	Kp (Rpm)	Q (ltr/s)
1	06.00	2,5	0	0	0	0	0	0	0	0	47	0.012	49	0.013	53	0.016	51	0.015	48	0.012	44	0.010
2	09.00	4,7	0	0	0	0	66	0.022	70	0.024	76	0.027	81	0.030	85	0.033	78	0.028	73	0.025	69	0.024
3	12.00	6,9	0	0	0	0	149	0.049	155	0.052	162	0.054	169	0.057	168	0.056	156	0.052	150	0.049	143	0.047
4	15.00	8,1	0	0	0	0	180	0.061	184	0.062	192	0.064	198	0.066	214	0.07	205	0.068	193	0.064	188	0.063
5	18.00	2,7	0	0	0	0	0	0	48	0.012	54	0.016	62	0.020	69	0.024	65	0.022	60	0.019	57	0.018
6	21.00	2,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	00.00	1,46	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	03.00	1,52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Sumber : Hasil analisis, 2012

Keterangan :

w =waktu pengujian (WIB)  
Ka = kecepatan angin (m/s)  
Kp =kecepatan putaran poros kincir (Rpm)  
Q = debit air (ltr/s)