

Desain Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro Terapung (PLTPHT)

Suparman¹, Hadi Suyono², Rini Nur Hasanah³

Abstract— The potential of renewable energy source in Indonesia nowadays for hydropower is about 75.67 GW and has been explored about 4.2 GW. Energy diversification has been directed to utilisation of renewable energy in nature. Based on that idea, thus the innovation by designing Floating Hydro Power Plant (FHPP) is required. FHPP is designed by utilizing irrigation water sources to meet small-scale power consumption, especially for household consumers about 500 watts of power. The FHPP design process is done by analyzing the dimension required and other related variables. After the size and dimensions of FHPP is determined, the next stage is the FHPP modeling by using Finite Element Software to determine the optimal design of FHPP as power output chosen. The design included the pontoon, waterwheel, permanent magnet generator (PMG), voltage rectifier, voltage stabilizer and battery to store the energy. Based on the experimental result, the maximum generated power is about 518W, that reached with the water flow 3.0m/s, waterwheel rotation 44.09 rpm, and the torque 112.22Nm.

Index Terms— floating hydro power plant, waterwheel, blade, ponton, water flow low speed

Abstrak—Potensi sumber energi terbarukan yang ada di Indonesia saat ini untuk tenaga air sekitar 75.67 GW dan baru dimanfaatkan sekitar 4.2 GW. Diversifikasi energi pada saat ini diarahkan pada penggunaan energi terbarukan yang ada di alam. Berdasarkan pemikiran tersebut maka perlu dilakukan suatu inovasi dengan mendesain pembangkit listrik tenaga piko hidro terapung (PLTPHT). PLTPHT di desain dengan memanfaatkan sumber aliran air irigasi untuk memenuhi konsumsi daya listrik skala kecil terutama pada konsumen rumah tangga dengan daya sekitar 500 watt. Proses desain PLTPHT dilakukan dengan terlebih dahulu menentukan dimensi yang diperlukan dan variable terkait lainnya. Setelah ukuran dan dimensi PLTPHT didapatkan, selanjutnya simulasi dengan menggunakan perangkat lunak elemen hingga dilakukan untuk mendapatkan desain optimal PLTPHT dengan keluaran daya yang diinginkan. Desain komponen PLTPHT termasuk didalamnya ponton, kincir air, generator magnet permanen (GMP), penstabil tegangan dan baterai yang berfungsi untuk menyimpan energi listrik. Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan, maksimum daya yang dihasilkan adalah sekitar 518W, yang dicapai pada saat aliran air 3.0m/s, putaran kincir 44.09 rpm, dan torsi kincir 112.22Nm.

Kata Kunci— pembangkit listrik tenaga air terapung, kincir air, sudu, ponton, kecepatan aliran air rendah

Suparman, Mahasiswa Program Magister Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (e-mail: suparmanunkhair@gmail.com).

Hadi Suyono, Dosen Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (e-mail: hadis@ub.ac.id).

Rini Nur Nurhasanah, Dosen Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (e-mail: rini.hasanah@ub.ac.id)

I. PENDAHULUAN

ENERGI mempunyai peran yang sangat penting dalam pencapaian tujuan sosial, ekonomi dan lingkungan untuk pembangunan berkelanjutan serta merupakan pendukung bagi kegiatan ekonomi nasional. Penggunaan energi di Indonesia meningkat pesat sejalan dengan pertumbuhan ekonomi dan pertambahan penduduk. Disisi lain akses ke energi yang andal dan terjangkau merupakan prasyarat utama untuk meningkatkan standar hidup masyarakat.

Keterbatasan akses ke energi komersial telah menyebabkan pemakaian energi perkapita masih rendah dibandingkan dengan negara lainnya. Dua pertiga dari total kebutuhan energi nasional berasal dari energi komersial dan sisanya berasal dari biomassa yang digunakan secara tradisional (non komersial). Sekitar separuh dari keseluruhan rumah tangga belum terjangkau dengan sistem elektrifikasi nasional [1].

Untuk itu diperlukan suatu kebijakan energi nasional yang berkelanjutan dengan memperluas akses kepada kecukupan pasokan energi, andal dan terjangkau dengan memperhatikan seluruh sarana dan prasarana yang diperlukan dan dampak lingkungan yang ditimbulkan. Perencanaan energi jangka panjang berkelanjutan dituangkan pada Perpres no. 5 Tahun 2006 yang pada prinsipnya ditekan pada:

1. Mengoptimalkan penggunaan bauran energi (*diversifikasi*).
2. Melakukan penghematan dan meningkatkan efisiensi energi.
3. Menggunakan energi baru dan terbarukan yang sudah siap secara teknis maupun ekonomis serta ramah lingkungan seperti : bahan bakar nabati, bahan bakar sintesis, panas bumi, mini / mikro hidro, nuklir, surya atau matahari, angin / bayu, hidrogen (*fuel cell*) dan energi arus dan gelombang samudra.

Potensi sumber energi terbarukan yang ada di Indonesia saat ini untuk tenaga air sekitar 75.67 GW dan baru dimanfaatkan sekitar 4.2 GW, panas bumi 27.14 GW pemanfaatannya sekitar 0.852 GW, Mini/Mikro hidro sekitar 0.46 GW dan baru dimanfaatkan sekitar 0.084 GW, biomasa 49.81 GW pemanfaatannya 0.302 GW, tenaga surya 4.80 kWh/m²/hari pemanfaatannya baru sekitar 0.008 GW, tenaga angin sebesar 9.29 GW dan pemanfaatannya sekitar 0.0005 GW [2]. Penelitian yang dilakukan oleh Lubis (2017) potensi mikro hidro Indonesia adalah sebesar 458,75 MW, sementara penelitian terbaru dari BPPT adalah potensi pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) sebesar 769,7 GW dan yang sudah terpasang sebesar 7,059 MW [3].

Model pembangkit listrik tenaga mikro hidro terapung (PLTMHT) pertama kali diperkenalkan oleh Wilson

Pierazoli Filho pada tahun 2003 di Kota Belo Horizonte Brasil [4] dan Mickhael .J. Sosnowski membuat model PLTMHT dan mematenkannya pada tahun 2007 di Amerika Serikat [5] membuat model PLTMHT yang lebih detail dibandingkan dengan model yang didesain oleh Wilson Pierazoli Filho. Kedua model sama sama menggunakan didesain mengambang di sungai. Model PLTMHT ini terdiri dari perahu, kincir, generator dan gear box. Pada tahun 2011 Navitron Ltd, membuat PLTMHT portabel secara modern dengan komponen utama dari PLTMHT ini adalah:

1. Ponton
2. Kincir air
3. Generator
4. *Automatically atch with the voltage of the battery*
5. *Moring System*

PLTMHT yang di desain oleh Navitron Ltd, dengan kapasitas 100 Watt, dengan kecepatan aliran air sungai 1.8 meter / detik, untuk yang 150 Watt kecepatan aliran air sungai 2.2 meter / detik, untuk yang 200 Watt kecepatan aliran air sungai 2.8 meter / detik dan untuk 250 Watt kecepatan aliran air sungai 3.0 meter / detik [6].

II. DASAR TEORI

Kincir air adalah suatu alat yang dapat menghasilkan energi mekanik berupa putaran poros dengan mengandalkan kecepatan aliran air dari sungai dan memanfaatkan energi kinetik air, energi kinetik air selanjutnya diubah menjadi energi mekanis pada turbin yang digunakan untuk menggerakkan generator sehingga menjadi energi listrik [7].

Kincir air (*turbine kinetic*) bekerja dimana arus aliran air langsung menumbuk sudu turbin berupa energi kinetik atau energi kecepatan [8]. Jumlah sudu turbin kinetik adalah salah satu variabel yang sangat mempengaruhi putaran dan gaya tangensial yang menentukan daya dan efisiensi sebuah turbin kinetik.

Penambahan jumlah sudu berarti meningkatkan putaran dan gaya tangensial yang terjadi dan dengan sendirinya meningkatkan daya dan efisiensi turbin kinetik [9]. Sampai saat ini jenis turbin kinetik yang dikenal adalah yang disebut dengan kincir air (*waterwheel*).

a. Prinsip kerja kincir air terapung

Prinsip kerja kincir air terapung adalah mengubah energi kinetik air menjadi energi mekanik yang dihubungkan dengan generator dan generator mengubah energi mekanik menjadi energi listrik dan kincir air terapung dalam Operasinya menggunakan ponton sebagai dukungan kincir sekaligus sebagai pelampung [10].

b. Daya air (P_a)

Kecepatan aliran air yang mengalir pada sungai menumbuk sudu kincir sehingga kincir dapat berputar, semakin cepat kecepatan aliran air sungai, maka semakin cepat pula putaran kincir air dan putaran generatonya

Kecepatan putaran kincir (rpm) dipengaruhi oleh kecepatan aliran air (V), kecepatan aliran air berbanding lurus dengan debit air, aliran air yang mengalir menghasilkan energi kinetik sebesar [11].

$$E = \frac{1}{2} m \times V^2 \quad (1)$$

Dimana:

E = Energi kinetik air (Joule)

m = Massa aliran air (kg/s)

V = Kecepatan aliran air (m/s)

Dengan V adalah kecepatan aliran air (m/s), maka Daya air yang tersedia dinyatakan [12],

$$P_a = \frac{1}{2} \rho \times Q \times V^2 \quad (2)$$

Atau dengan menggunakan persamaan kontinuitas [13] $Q = AV$ maka diperoleh daya air sebagai berikut

$$P_a = \frac{1}{2} \rho \times A \times V^3 \quad (3)$$

Dimana:

P_a = Daya air (watt)

A = Luas penampang saluran (m^2)

ρ = Massa jenis air (kg/s^3)

V = Kecepatan aliran air (m/s)

Q = Debit aliran air (m^3/s)

c. Daya mekanik kincir (P_k)

Daya mekanik kincir (Daya poros kincir) adalah daya yang dihasilkan oleh putaran kincir air akibat adanya tumbukan antara aliran air dengan sudu kincir atau hasil perkalian antara torsi dengan kecepatan sudut kincir

Besar kecilnya daya mekanik yang dihasilkan oleh kincir air tergantung pada kecepatan aliran air, luas penampang, dan putaran kincir [14]

$$P_k = T \cdot \omega \quad (4)$$

Dimana

P_k = Daya mekanik kincir air (w)

T = Torsi kincir air dalam (Nm)

ω = Kecepatan putaran sudut (rad/s)

Torsi adalah hasil perkalian gaya yang bekerja pada kincir dengan lengan kincir. Torsi yang dihasilkan oleh kincir dipengaruhi gaya untuk memutar kincir dan jari-jari kincir. Maka diperoleh persamaan torsi kincir [15]

$$T = F \cdot r \quad (5)$$

Kecepatan sudut adalah besarnya sudut yang ditempuh persatuan waktu (rad/s) [16]

$$U = \omega \cdot r \quad (6)$$

Besarnya kecepatan keliling kincir dapat dihitung dengan persamaan [17]

$$U = \frac{1}{2} V \cos \alpha \quad (7)$$

Dimana

F = Gaya tangensial (N)

r = Jari-jari kincir (m)

α = Sudut kemiringan sudu kincir ($^\circ$)

U = Kecepatan keliling kincir (m/s)

d. Daya rencana generator (P_c)

Poros pada kincir air digunakan sebagai penerus putaran dari kincir ke generator melalui gearbok, sebagai penggerak generator [18]. Semakin cepat aliran air yang mengalir, maka putaran kincir semakin cepat dan tegangan yang dihasilkan oleh generator semakin besar. Generator yang digunakan dalam perancangan PLTPHT adalah generator magnet permanen (GMP).

III. METODE PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam proses desain PLTPHT adalah:

A. Studi literatur

Literatur yang diperoleh dari jurnal-jurnal dan buku teks yang relevan dengan pembahasan ini sesuai dengan kondisi lapangan dan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

B. Variabel penelitian

Variabel yang terkait dalam penelitian ini terdiri dari variabel bebas dan variabel yang terkait.

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya dapat ditentukan terlebih dahulu sebelum penelitian dilakukan diantaranya terdiri dari:

1. Variasi jumlah sudu kincir air yaitu menggunakan sudu 10 dan sudu 12
2. Variasi kecepatan aliran air yaitu mulai 0.5 m/s, 1.0 m/s, 1.5 m/s, 2.0 m/s, 2.5 m/s, dan 3.0 m/s.
3. Kincir yang tercelup dalam air antara 15-20 cm
4. Daya yang direncanakan antara 300-450 VA

Sedangkan variabel terkait adalah variabel yang nilainya sangat tergantung pada variabel bebas dan merupakan hasil penelitian ataupun hasil simulasi.

C. Konsep desain PLTPHT

Dasar pemikiran dalam konsep desain diatas adalah bagaimana caranya merancang sebuah kincir dengan daya antara 300 - 450 watt dengan menggunakan tenaga penggerak aliran air irigasi atau sungai. Asumsinya adalah daya hidrolik air (P_a) sama dengan daya mekanik poros kincir (P_k) sama dengan dengan daya yang direncanakan (P_c). Artinya jika $P_c = 450$ watt maka (P_a) dan P_k juga harus 450 watt ($P_a = P_k = P_c$).

D. Proses desain PLTPHT

Proses perancangan PLTPHT kemudian dianalisis untuk mendapatkan ukuran dan diameter yang sesuai dengan daya yang direncanakan. Ketika ukuran dan diameter kincir sudah didapat barulah proses desain dilaksanakan dengan membuat model PLTPHT secara lengkap dan detail.

Kincir yang direncanakan beroperasi secara terapung dengan menggunakan ponton dan GMP sebagai penghasil tegangan, Untuk mendapatkan hasil sesuai dengan yang diinginkan maka direncanakan sudu kincir tidak langsung memutar GMP, tetapi dihubungkan dengan menggunakan gearbok 10:1 agar putaran maksimum GMP dapat tercapai secara maksimal. Sistem pembangkit piko hidro terapung terdiri dari kincir air, generator, baterai, sistem kontrol dan ponton. Ponton digunakan untuk membentuk platform mengambang.

1) Model kincir air

Perancangan kincir dimulai dengan menentukan dimensi dan bentuk kincir air sesuai dengan sistem ponton yang diadopsi dan generator yang dipilih berdasarkan potensi daya yang direncanakan.

Kincir dirancang adalah dengan menggunakan 10 sudu, dimana kincir dibuat dari besi plate 2 mm. Kincir air beroperasi dengan dengan menggunakan *gearbox* inkripsi 1:10 untuk menaikkan putaran output yang kegenerator, agar putaran maksimum generator dapat tercapai. Luas penampang aliran yang akan menerpa sudu kincir yang direncanakan adalah (A) yang dapat ditentukan dengan menggunakan rumusan sebagai berikut [19]:

$$A = b \cdot h \quad (8)$$

Dimana

- A = Luas sudu m^2
- b = Lebar sudu (m)
- h = Panjang sudu (m)

2) Generator magnet permanent (GMP)

Kapasitas daya generator adalah 500 watt, *voltase* 12-volt ac, 3 fasa, frekuensi 50 Hz dan kecepatan putaran 600 rpm. Tegangan AC yang dihasilkan oleh Gmp kemudian dirubah menjadi tegangan DC, Disearahkan menggunakan penyearah AC to DC. Tegangan yang dihasilkan generator disimpan kedalam akumulator (aki). Generator ini dipilih berdasarkan beberapa pertimbangan diantaranya adalah dapat beroperasi pada kecepatan rendah, kebutuhan perawatan dan pengadaan suku cadang yang mudah.



Gambar 1. Generator magnet permanent

Daya listrik yang dihasilkan oleh generator sangat dipengaruhi oleh kecepatan aliran air dan putaran roda kincir, semakin banyak putaran kincir yang dihasilkan maka tegangan yang dihasilkan semakin besar pula sehingga daya listrik juga semakin besar, [20] hal ini sesuai dengan rumus:

$$P_g = V \cdot I \quad (9)$$

Dimana:

- P_g = adalah daya yang dihasilkan generator (Watt)
- I = adalah kuat arus listrik (Ampere)
- V = adalah tegangan (Volt)

3) Baterai

Accumulator atau baterai adalah alat listrik kimiawi yang menyimpan energi dan mengeluarkan dalam bentuk listrik. Tegangan baterai yang beredar di pasaran dan menggunakan cairan elektrolit adalah 12 Volt dan ada juga yang 6 Volt. Untuk jenis baterai kering tegangan keluarannya 1,5 -12 Volt. Tegangan normal dari sebuah baterai 12 Volt adalah 12.6 Volt.

Baterai terdiri dari sel-sel yang masing-masing sel bertegangan sekitar 2,1 Volt. Untuk baterai 12 Volt menggunakan 6 sel. Tiap sel terdiri dari pelat positif dan pelat negatif yang dipisahkan oleh separator agar tidak terjadi hubungan langsung. Semua pelat positif dihubungkan menjadi satu oleh pelat *strape* sehingga menjadi bagian pelat positif begitu juga pelat negatif dihubungkan oleh pelat *strape* sehingga menjadi pelat negatif.



Gambar 2. Baterai 28 Ah

4) Charger baterai

Kontrol yang digunakan dalam percobaan ini adalah sistem kontrol bawaan dari generator magnet permanent yang berfungsi untuk mengecras baterai. Input 3 phase 0-60 volt ac – output 13.5 volt dc. [21]



Gambar 3. Automatically match with the voltage of the battery

5) Ponton

Ponton dirancang berdasarkan hukum *Archimedes* untuk membuat sistem mengapung [22], ponton terbuat dari *fiberglass* dengan ketebalan 3 mm [23-24]. Volume ponton diperoleh dari volume bagian silinder, seperempat bagian bola bagian belakang, seperenam dari bentuk bola bagian depan, dan setengah dari bagian berbentuk kerucut.

E. Simulasi desain PLTPHT

Setelah PLTPHT selesai didesain, tahap selanjutnya adalah mensimulasikan model yang telah dibuat dengan menggunakan perangkat lunak fluida yang menggunakan metode numerik dan *algoritma* untuk menyelesaikan dan menganalisis permasalahan yang berhubungan dengan fluida. Tujuan dari analisis ini adalah untuk memprediksi secara akurat tentang aliran fluida yang menerpa sudu kincir dan torsi yang dihasilkan oleh kincir air.

F. Pengujian PLTPHT

Setelah PLTPHT selesai di desain, tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian. Pengujian PLTMHT dilakukan secara mekanik dilakukan untuk mencari hubungan antara generator dengan kecepatan putaran motor sebagai pengganti dari aliran air. Parameter yang diukur dalam pengujian PLTPHT secara mekanik adalah putaran motor, putaran generator dan tegangan generator.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis daya hidrolik air

Besarnya daya hidrolik air (Pa) yang melewati celah kedua ponton pada saluran dapat dihitung menggunakan persamaan 3 di atas. Daya air dan kecepatan air ditunjukkan pada Tabel 1.

Daya air (watt)	Kecepatan aliran air (m/s)
7.93	0.50
63.41	1.0
214.01	1.5
507.29	2.0
990.81	2.5
1712.12	3.0

Daya air (Pa) adalah energi yang mengalir pada celah kedua ponton berbanding lurus dengan massa jenis air (ρ), luas penampang (A) dan kecepatan aliran air (V).

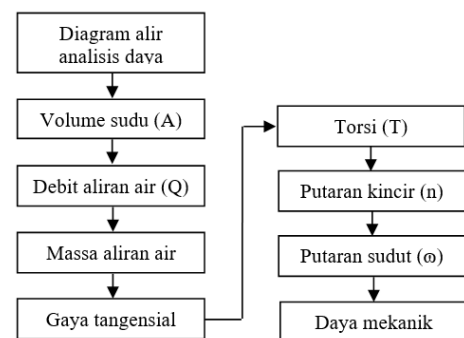
B. Analisis ponton

Material ponton menggunakan *fiberglasses* dengan ketebalan dinding ponton 3 mm, dimana kekuatan daya apung ponton pada Tabel 2.

Data ponton	Volume	Satuan
Berat ponton	15.00	Kg
Gaya apung ponton	159.57	Kg
Kapasitas ponton	80.39	kg

C. Analisis daya mekanik kincir air hasil perancangan

Proses analisis daya daya kincir hasil perancangan dapat dilihat pada gambar 10 di bawah ini.



Gambar 4. Diagram alir analisis daya kincir air

Analisis daya mekanik kincir hasil perancangan dimulai dari menghitung volume sudu kincir, debit aliran air dan massa air. Setelah ketiga variabel selesai dihitung, maka tahap selanjutnya adalah menghitung torsi dan putaran kincir serta kecepatan putaran sudut kincir. Daya kincir adalah hasil perkalian antara torsi dan putaran sudut kincir, berikut tabulasi daya mekanik kincir hasil perancangan.

Kecepatan aliran air (m/s)	Putaran kincir (rpm)	Putaran sudut (rad)	Torsi kincir (Nm)	Daya kincir (watt)
0.5	7.35	0.77	3.12	2.40
1.0	14.70	1.54	12.47	19.18
1.5	22.05	2.31	28.05	64.74
2.0	29.40	3.08	49.87	153.45
2.5	36.75	3.85	77.93	299.71
3.0	44.09	4.62	112.22	517.90

D. Analisis kincir hasil simulasi

Analisis kincir air menggunakan CFD dilakukan untuk mencari nilai torsi yang dihasilkan oleh kincir. Daya yang dihasilkan oleh kincir air hasil simulasi dibandingkan dengan perhitungan secara matematis dengan hasil perancangan.

1. Report torsi hasil simulasi

TABLE IV
DAYA KINCIR AIR 10 SUDU HASIL SIMULASI

Kecepatan aliran air (m/s)	Putaran kincir (rpm)	Putaran sudut (rad)	Torsi kincir (Nm)	Daya kincir (watt)
0.5	7.35	0.77	3.74	2.88
1.0	14.70	1.54	14.96	23.02
1.5	22.05	2.31	33.66	77.68
2.0	29.40	3.08	59.85	184.14
2.5	36.75	3.85	93.51	359.65
3.0	44.09	4.62	134.66	621.48

E. Analisis hasil pengujian PLTPHT

PLTPHT yang telah dirancang, dibuat, dan dirakit perlu diuji untuk mengetahui kinerja dari sistem PLTPHT secara keseluruhan. Pengujian PLTPHT dilakukan secara mekanik dan experimental.

Pengujian secara mekanik dilakukan untuk mencari hubungan antara generator dengan kecepatan putaran motor sebagai pengganti dari aliran air. Parameter yang diukur dalam pengujian PLTPHT secara mekanik adalah putaran motor, putaran generator dan tegangan generator.

Pengujian secara eksperimen dilakukan di saluran sekunder aliran irigasi Desa Kedungkandang Kecamatan Kota Lama Malang. Dalam pengujian secara eksperimen, parameter yang diukur adalah kecepatan aliran air, torsi kincir, tegangan dan arus generator. Hasil pengujian secara mekanik dan eksperimen dapat dilihat pada tabel 5, 6, 7, 8, dan 9.

TABLE V
PENGUJIAN SECARA MEKANIK GMP TANPA MENGGUNAKAN BEBAN

Kontrol putaran (VSD) Hz	Putaran motor (rpm)	Tegangan Gmp fasa R (Volt)	Arus Gmp (A)	Daya kincir (watt)
2.0	100	15.27	-	-
3.0	150	17.30	-	-
4.0	200	20.22	-	-
5.0	250	25.04	-	-
6.0	300	33.18	-	-

TABLE VI
PENGUJIAN SECARA MEKANIK GMP DENGAN MENGGUNAKAN BEBAN AKI 28 AH

Kontrol putaran (VSD) Hz	Putaran motor (rpm)	Tegangan Gmp fasa R (Volt)	Arus Gmp (A)	Daya kincir (watt)
2.0	100	12.75	2.00	31.54
3.0	150	13.09	3.30	51.26
4.0	200	15.40	4.13	74.22
5.0	250	20.49	5.00	10995
6.0	300	24.04	6.20	158.78

TABLE VII
PENGUJIAN SECARA EKPERIMEN KINCIR AIR 10 SUDU TANPA MENGGUNAKAN BEBAN

Kecepatan aliran air (m/s)	Putaran kincir (rpm)	Tegangan Fasa R gmp (volt)	Arus fasa R Gmp (A)	Daya kincir (watt)
0.5	12.61	14.30	-	-
1.0	19.60	17.60	-	-
1.5	28.69	22.00	-	-
2.0	35.28	26.00	-	-
2.5	40.68	29.00	-	-

TABLE VIII
PENGUJIAN SECARA EKPERIMEN KINCIR AIR 10 SUDU DENGAN MENGGUNAKAN BEBAN LAMPU 500 WATT

Kecepatan aliran air (m/s)	Putaran kincir (rpm)	Tegangan Fasa R gmp (volt)	Arus fasa R Gmp (A)	Daya kincir (watt)
0.5	6.62	6.70	3.0	23.10

1.0	11.23	8.60	3.30	32.67
1.5	14.31	11.60	3.70	46.25
2.0	17.22	12.70	3.90	55.77
2.5	20.93	13.80	4.20	63.84

PENGUJIAN SECARA EKPERIMEN KINCIR AIR 10 SUDU DENGAN MENGGUNAKAN BEBAN AKI 28 AH

Kecepatan aliran air (m/s)	Putaran kincir (rpm)	Tegangan Fasa R gmp (volt)	Arus fasa R Gmp (A)	Daya kincir (watt)
0.5	13.37	9.70	3.10	32.55
1.0	16.48	11.70	3.50	44.10
1.5	19.53	13.80	3.70	54.02
2.0	22.64	14.30	4.00	61.20
2.5	25.75	15.50	4.80	77.28

F. Pengembangan dan perbaikan desain PLTPHT

Efisiensi kincir dalam menransmisikan daya masih terlalu kecil, efisiensi ini secara teknologi masih dapat disempurnakan lagi dengan:

1. Penyempurnaan pada sistem transmisi

Sistem transmisi masih dapat dibuat lebih efisien lagi dalam menransmisikan putaran dari roda kincir ke generator, tidak dapat dipungkiri bahwa sistem transmisi daya yang dirakit sendiri dari roda gigi dan kopling yang dibuat tidak secara khusus untuk kegunaan itu sehingga hasil yang didapat kurang maksimal, jika dibandingkan dengan perangkat yang memang khusus dibuat untuk itu. Oleh karena itu layak diduga bahwa sebuah perencanaan sistem transmisi yang dilakukan khusus dapat meningkatkan performa dan efektifitas kincir air

2. Penyempurnaan pada generator

Penyempurnaan pada generator dilakukan dengan cara memodifikasi generator atau mendesain sendiri generator yang dapat beroperasi pada kecepatan low speed (50 -100 rpm) dimana daya yang dihasilkan masih mungkin diperbesar jika kita dapat membuat generator dengan jumlah kutub yang lebih banyak, sehingga daya listrik dapat dihasilkan pada putaran yang lebih rendah. Jika daya optimum dapat dihasilkan pada putaran yang lebih rendah maka momen yang tersedia lebih besar dan konstruksi sistem transmisi akan lebih sederhana. Hal ini dapat dilihat dari formula berikut dimana:

$$n = \frac{120 \cdot f}{p} \quad (10)$$

Dimana,

n : adalah jumlah putaran dalam satuan rpm

f : adalah frekwensi dalam satuan Hz

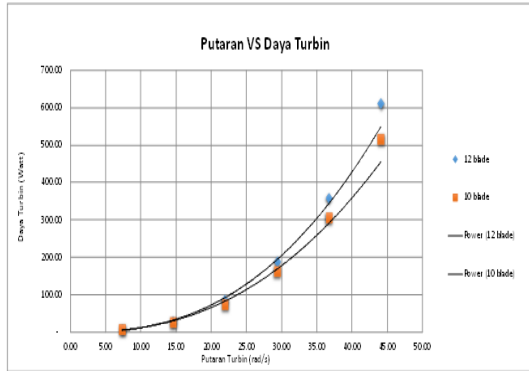
p : adalah jumlah kutup

Formula diatas menunjukkan bahwa dengan makin banyak jumlah kutub pada generator maka jumlah putaran untuk menghasilkan daya dengan frekuensi tegangan yang sama akan makin rendah. Generator yang dapat menghasilkan daya pada putaran rendah membantu meringankan kerja sistem transmisi, dimana ratio putaran yang diperlukan bisa lebih rendah. Jika ratio transmisi lebih rendah maka sistem roda gigi menjadi lebih sederhana dan lebih kuat

G. Hubungan daya kincir vs putaran

Daya merupakan kemampuan untuk melakukan kerja persatuan waktu, sedangkan putaran adalah jumlah

atau banyaknya putaran persatuan menit. Hubungan daya dan putaran dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

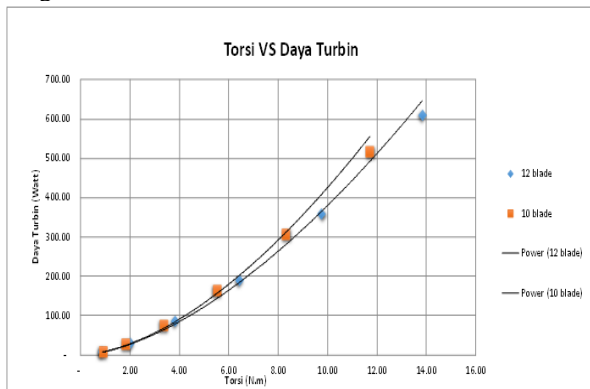


Gambar 10. Hubungan daya dengan putaran

Hasil analisa perbandingan daya(P) dan putaran (N) pada kincir yang terlihat pada gambar 10 terlihat bahwa perbandingan daya (P) dan putaran (N) perbandingannya cukup linear. jika terjadi perubahan kecepatan pada putaran kincir maka akan terjadi peningkatan daya juga pada kincir.

H. Hubungan daya kincir vs torsi

Pada gambar dibawah ini adalah hubungan daya kincir dengan torsi kincir air

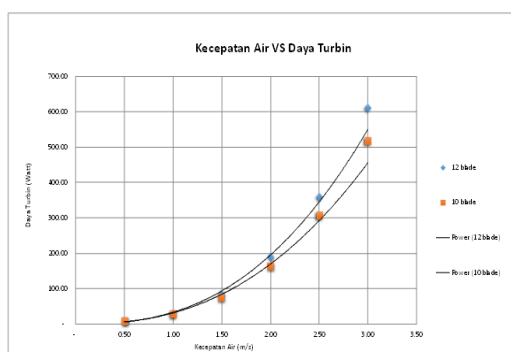


Gambar 11. Hubungan daya dengan torsi

Pada gambar 11 daya output yang dihasilkan oleh kincir tergantung pada besarnya torsi pada poros kincir, sehingga torsi kincir sangat dipengaruhi oleh gaya tangensial yang memutar kincir dan jari-jari kincir.

I. Hubungan daya kincir vs kecepatan aliran air

Pada gambar dibawah ini adalah hubungan daya kincir dengan aliran air



Gambar 12. Hubungan daya dengan kecepatan aliran air

Pada gambar 11 dan 12 terlihat jelas bahwa besarnya daya mekanik yang dihasilkan oleh kincir sangat tergantung pada kecepatan aliran air, luas penampang, dan putaran kincir. Kecepatan aliran air yang menerpa sudu kincir akan memutar kincir, berputarnya kincir akan menghasilkan torsi pada poros kincir. Besar kecilnya torsi kincir yang dihasilkan oleh kincir dipengaruhi oleh gaya tangensial untuk memutar kincir dan jari-jari kincir.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil analisis diatas dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Daya maksimum kincir 10 sudu hasil perancangan pada kecepatan air 3.0 m/s adalah 517.90 watt.
2. Daya minimum kincir air 10 sudu hasil perancangan pada kecepatan aliran air 0.5 m/s adalah 2.40 watt.
3. Daya maksimum kincir air 10 sudu hasil simulasi pada kecepatan aliran air 3.0 m/s adalah 373.83 watt.
4. Daya minimum kincir air 10 sudu hasil simulasi pada kecepatan aliran air 0.5 m/s adalah 3.95 watt.
5. Tegangan AC yang dihasilkan generator pada pengujian mekanik tanpa menggunakan beban pada putaran 600 rpm adalah 33.18 Volt dan sedangkan tegangan DC pada penyearah adalah 41.31 Volt.
6. Tegangan AC yang dihasilkan generator pada pengujian mekanik dengan menggunakan beban aki 28 AH pada putaran 600 rpm adalah 24.04 Volt, arus 5.78 Ampere dan sedangkan tegangan DC pada penyearah adalah 25.61 Volt dan arus 6.2 Ampere.
7. Tegangan AC yang dihasilkan generator pada pengujian eksperimen kincir air 10 sudu tanpa menggunakan beban pada kecepatan air 2.5 m/s putaran gmp 419.00 rpm adalah 29.00 Volt dan sedangkan tegangan DC pada penyearah adalah 30.20 Volt.
8. Tegangan AC yang dihasilkan generator pada pengujian eksperimen kincir air 10 sudu dengan menggunakan beban aki 28 AH pada kecepatan air 2.5 m/s putaran gmp 226.00 rpm adalah 13.50 Volt, sedangkan tegangan DC pada penyearah adalah 15.20 Volt dan arus 4.20 Ampere.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Power System Engineering and Energy Management Research Group (PSeeMRG), Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya atas pendanaan penelitian dan publikasi ini dan kepada Laboratorium Studio Perancangan dan Rekayasa Sistem, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya untuk fasilitas perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Permen, 2006. Menteri Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia.
- [2] BPPT, 2014. Outlook energi indonesia.
- [3] Filho, W. P., 2003. Floating power station for production of electric energy signed by Wilson Pierazoli Filho and Tabeliao Triginelli a Notary Public of the 3rd District).
- [4] Michael J.S. 2005. Floating water current driven electrical power generation system.

- [5] Navitron. 2011. Manual Floating Water Turbine Generator.
- [6] Yani. A., Wahyudi. S., Denny. W., 2012. Pengaruh variasi panjang sudu mangkok terhadap kinerja turbin kinetik. Prosiding Seminar Nasional Science, Engineering and Technology, Brawijaya Malang
- [7] Ohoirenan. W, Wahyudi. S., Sutikno. D., 2012. Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Kinetik Roda Tunggal. Prosiding Seminar Nasional Science, Engineering and Technology, Brawijaya Malang.
- [8] Pietersz. R., Soenoko. R., Wahyudi. S., 2013. Pengaruh jumlah sudu terhadap optimalisasi kinerja turbin kinetik roda tunggal.
- [9] Shantika. T., Ali., Anggara. A., Ihsanudin. A., 2013. Pemanfaatan aliran sungai dangkal untuk pembangkit listrik picohydro menggunakan floating turbine 47 watt.
- [10] Budiarmo. 2003. Mekanika fluida jilid keempat Erlangga Jakarta.
- [11] Sule. R. 2012 Kinerja roda air plat arus bawah dengan variasi jumlah sudu.
- [12] Munson. B.R., Young. D.F., Okiishi. T.H., 2009. Mekanika Fluida Jilid 2. Edisi ke empat, Airlangga, Yogyakarta
- [13] Prayatmo, Wibowo. 2007. Turbin air penerbit graha ilmu yogyakarta
- [14] Fizal. W.M., Febriani.O., 2015. Rancang dan bangun kincir air dan pulley sebagai penunjang kinerja PLTMH.
- [15] Darmawi. 2013. Pengembangan kemandirian energi pedesaan berwawasan lingkungan melalui rancang bangun kincir air apung pada saluran sekunder daerah reklamasi rawa pasang surut.
- [16] Unggul. W., 2014. Waterwheel design of micro hydro power plant Bendosari Village Districts Pujon Malang.
- [17] Puji. S., Satwiko., S., Taufik. 2012. Studi awal pengaruh jumlah sudu terhadap daya keluaran turbin angin tipe horizontal berdiameter 1,6 meter sebagai sumber penyedia listrik pada proyek rumah DC di FMIPA UNJ.
- [18] Yelguntwar. P., Bhange. P., Lihare. Y., Bahadure. A., 2014. Design, fabrication & testing of a waterwheel for power generation in an open channel flow.
- [19] Sularso, Suga. K. 1997. Dasar dasar perencanaan dan pemilihan elemen mesin Penerbit PT. Pradnya Paramita Jakarta.
- [20] Jiansi. 2016 Catalogue wind turbine charge controller user manual.
- [21] Dijksterhuis, E.J. 2014. Archimedes. Princeton University Press.
- [22] Williams, A.N., Lee, H.S., and Huang, Z. 2000. Floating pontoon breakwaters. Ocean Engineering.
- [23] Tampi. A.R. 2011. Reviews: Pontoon, an alternative flexible cheap mounting option for the renewable decentralized river current turbine power service.
- [24] Prasetyo. B., Chrismianto. D., Iqbal. M. 2015. Analisis pengaruh geometri dan jumlah sudu terhadap performansi wells turbine.
- [25] Nakasone. Y., Yoshimoto. S., Stolarski. T.A. 2006. Engineering Analysis With ANSYS Software.