

Redesign *runner* turbin pembangkit listrik tenaga pico hydro dengan metode reverse engineering melalui pendekatan teoritis

Abdillah Zuhud. S.¹, Sukmaji², Dwi aries², Danardono²

¹Program Sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta tlp. 0271632163

²Staff Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret
Jl. Ir. Sutami 36A Surakarta tlp. 0271632163
Email korespondensi: abzusu_414@yahoo.co.id

Abstrak

Daerah tertinggal adalah daerah yang terisolasi secara geografis yang memiliki aksesibilitas sangat rendah. Sebagian besar wilayahnya memiliki tingkat populasi dan kelistrikan yang rendah karena aksesibilitasnya sangat jauh dari jaringan tenaga nasional. Masalah listrik di daerah tertinggal bisa diatasi dengan membangun pembangkit listrik tenaga piko hidro. Salah satu komponen penting piko hidro adalah *runner* turbin. Berdasarkan proses perancangan teoritis yang mengacu pada laju alir variabel tetap 25 l/s, head 2 m dan jumlah putaran turbin 1500 rpm maka diperoleh *runner* diameter luar turbin propeller adalah 0,103m, diameter hub 0,515m, jumlah blade adalah 4 dengan profil blade datar, efisiensi hidrolik 76% dan ditargetkan untuk meningkatkan tenaga listrik 490 Watt.

Kata kunci: pico hidro, turbin, propeller.

Abstract

accessibility. Most of its area has a low level both population and electrification due to its accessibility is so far from National power grid. The electrical problem in remote area can be solved by building a Pico hydropower. One of the important components of Pico hydro is a runner turbine. Based on theoretical design process that refers to the fixed variable flow rate 25 l/s, head 2 m and number of turbine rotation 1500 rpm then to be obtained outer diameter runner turbine propeller is 0,103 m, hub diameter is 0,515m, number of blade is 4 with flat blade profile, hydraulic efficiency is 76% and it is targeted to raise 490 Watt electrical power.

Keywords: pico hydro, turbine, propeller.

1. Pendahuluan

Dewasa ini energi listrik merupakan salah satu kebutuhan pokok sebagian besar umat manusia. Dibalik seluruh peran besarnya dalam rangka mendukung peradaban manusia, energi listrik juga menyebabkan timbulnya beberapa masalah baru. Salah satu permasalahan yang sering terjadi adalah tidak meratanya ketersediaan energi listrik bagi masyarakat. Nilai rasio elektrifikasi merupakan nilai perbandingan antara jumlah rumah tangga yang sudah mendapatkan listrik dengan rumah tangga yang belum mendapatkan listrik. Walaupun pertumbuhan rasio elektrifikasi di Indonesia setiap tahunnya cukup stabil, namun pemerintah tetap menargetkan rasio elektrisitas mencapai 100% di tahun 2020. Hal ini terkait dengan undang-undang energi pasal 19 ayat satu, dimana dinyatakan bahwa setiap orang berhak untuk mendapatkan energi.

Berdasarkan laporan statistik PLN tahun 2013, penggunaan gas alam 41.254 GWh (28,61%),

batubara 74.269 GWh (51,50%), minyak 11.307 GWh, (7,84%), tenaga air 13.010 GWh (9,02%), dan 4.345 GWh (3,01%) berasal dari panas bumi. Dibandingkan tahun sebelumnya, pangsa gas alam, batubara, air dan panas bumi mengalami peningkatan, sedangkan minyak mengalami penurunan [1]

Wilayah Indonesia yang secara umum memiliki sumber aliran air dan di beberapa wilayah didukung dengan kondisi geografis bergunung-gunung yang dapat menyebabkan aliran air ini memiliki beda ketinggian, memberikan peluang bagi pemanfaatan pembangkit energi air. Potensi sumber daya tenaga air di Indonesia sebesar 75.000 MW namun kapasitas terpasang yang ada saat ini baru 5.940,04 MW atau sebesar 7,92 persen [2]

Pembangunan PLTA jenis *pico hydro* di daerah-daerah tertinggal menjadi salah satu usaha pengembangan daerah yang akan memberikan imbas positif pada daerah tersebut. Imbas positif ini akan berkembang mengikuti perkembangan di daerah lainnya. Tidak hanya untuk penerangan saja, target

akhir dari pembangunan PLTA *pico hydro* ini adalah terbukanya wawasan warga sekitar dengan adanya akses melihat dunia luar melalui televisi, radio ataupun internet.

Berdasarkan daya yang dapat dibangkitkan, *hydro power* diklasifikasikan sebagai berikut.

- | | |
|-----------------|-------------|
| 1. Large-Hydro | : 500 MW |
| 2. Medium-Hydro | : 100 MW |
| 3. Small-Hydro | : 1-100 MW |
| 4. Mini-Hydro | : 1 MW |
| 5. Micro-Hydro | : 0,1 MW |
| 6. Pico-Hydro | : <0,005 MW |

Eksplorasi intensif dari berbagai alternatif dan sumber daya energi terbarukan saat ini sedang dilakukan di seluruh dunia. Listrik *pico hydro* menjadi pertimbangan terbaik karena dianggap sebagai pilihan energi terbarukan yang paling hemat biaya untuk menyediakan listrik untuk daerah pedesaan, dan untuk memungkinkan energi akan berasal dari tinggi jatuh (*head/H*) dan aliran sungai (*Q*) yang sangat rendah 1m dan 1L/s [3]

Kebutuhan energi di Dunia meningkat dari hari ke hari karena meningkat pesat populasi dan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi. Namun dalam era sekarang ada terlalu banyak hambatan yang mengurangi konsumsi listrik untuk masyarakat umum, tingginya biaya bahan bakar, permintaan tinggi dan pasokan rendah bahan bakar. Bahan bakar seperti batu bara, minyak bumi, CNG, LPG, energi nuklir yang menipis dari hari ke hari dan juga merusak ekosistem kita. Biaya instalasi proyek pembangkit listrik tenaga air besar yang sangat tinggi dan tidak dapat diinstal di mana saja. Karena alasan tersebut, pembangkit listrik tenaga pico-hydro adalah solusi untuk sistem pembangkit dengan biaya rendah dan dapat pasang dimana saja [4]

Pico hydro dapat menjadi solusi yang tepat untuk meningkatkan elektrifikasi pedesaan dan telah diterapkan hanya dalam beberapa kasus untuk aplikasi *head* sedang sampai *head* tinggi di Nepal. Manufaktur lokal dari pico turbin hidro telah terbukti berhasil di negara-negara berkembang lainnya dan mungkin telah beradaptasi dengan teknologi secara meluas. Sebuah *runner* turbin *propeller* dengan ketebalan konstan, melengkung, memutar, dan variabel panjang *chord* dirancang untuk memungkinkan membangkitkan 1 kW listrik dengan *head* 2 m dan 70 l/s [5].

Proses duplikasi bagian yang sudah ada, *sub assembly*, atau produk tanpa bantuan gambar, dokumentasi, atau model komputer dikenal sebagai *reverse engineering*. *Reverse engineering* juga didefinisikan sebagai proses mendapatkan model CAD geometri dari titik 3D diakuisisi oleh *scanning/digitalisasi* produk yang ada [6]

Aplikasi dari *reverse engineering* dalam area industri sebagai berikut [7]:

1. Disain dari komponen baru: pembuatan disain komponen baru dari komponen yang sudah ada.
2. Reproduksi komponen: pembuatan komponen karena sudah tidak diproduksi lagi.
3. Perbaikan dari komponen yang rusak: permukaan komponen yang rusak diukur dan rekonstruksi kembali menggunakan CAD dan dibandingkan dengan komponen yang sudah ada.
4. Pengembangan model yang lebih presisi.
5. Observasi dari data numeris: pemrosesan data dari model yang sudah ada didalam CAD kemudian membandingkan dengan model terdahulu

Metode *Reverse Engineering* mempercepat pengembangan produk dengan mengurangi kegiatan uji coba ukuran produk terutama masalah ukuran ergonomi. Pengembangan produk dapat dilakukan dengan merubah bentuk estetika dan ketersediaan komponen pendukung yang ada [8]

Penelitian ini bertujuan untuk Menentukan desain *runner* PLTA *pico hydro* terbaik dan Mendapatkan efisiensi *runner* turbin paling maksimal dengan kondisi alam tertentu sehingga turbin yang dihasilkan nantinya dapat diaplikasikan dan dioperasikan dengan mudah di daerah-daerah terpencil.

2. Metode

Peralatan yang digunakan

Peralatan yang digunakan adalah laptop, software solidwork dan software Microsoft Excel 2010.

Garis Besar Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan hanya sebatas perhitungan parameter-parameter yang dibutuhkan untuk mendesain PLTA *pico hydro* menggunakan rumus-rumus yang telah ada sebelumnya.

Urutan proses yang perlu dilakukan dalam mendesain PLTA *pico hydro* adalah sebagai berikut.

1. Mengumpulkan literature dan mempelajari hasil-hasil penelitian sebelumnya.
2. Menentukan jenis turbin yang sesuai berdasarkan *head*, debit dan kecepatan putaran turbin.
3. Menghitung karakteristik turbin dan perlengkapan lainnya menggunakan persamaan-persamaan yang telah ditentukan kemudian mendesain PLTA menggunakan Solidwork.

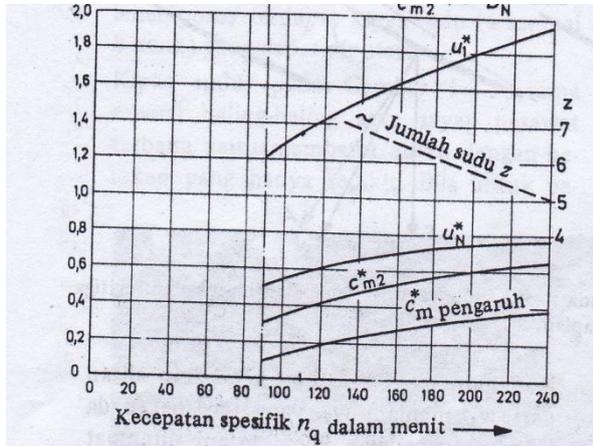
Perhitungan karakteristik *runner* turbin dan perlengkapan lainnya didasarkan atas literatur yang didapat dalam buku karya Nechleba dan beberapa literatur yang relevan. Berikut ini adalah urutan perhitungan karakteristik *runner* turbin *propeller*,

Diameter terluar runner (D)

$$C_x = c_m \sqrt{2gh} \quad (3.1)$$

$$D_t = \sqrt{\frac{4Q}{\pi c_x \left(1 - \left(\frac{dh}{dt}\right)^2\right)}} \quad (3.2)$$

Nilai c_m didapatkan dengan memasukkan nilai kecepatan spesifik (Ns) pada gambar 3.1 berikut ini



Gambar 1. Grafik penentuan parameter [9]

Jarak runner dengan sudu pengarah (λ)

Jarak antara runner dengan sudu pengarah dapat ditentukan dengan persamaan 3.3 berikut ini,

$$\lambda = 0,25 Dt \quad (3.3)$$

Keterangan:

Dt : Diameter terluar runner (m)

λ : jarak antara runner dengan sudu pengarah (m)

Jarak antar sudu (s)

Jarak antar sudu runner dapat ditentukan dengan persamaan 3.4 berikut ini,

$$s = \frac{\pi D \left(\frac{dh}{dt}\right)}{z} \quad (3.4)$$

Keterangan:

S : Jarak antar sudu runner (m)

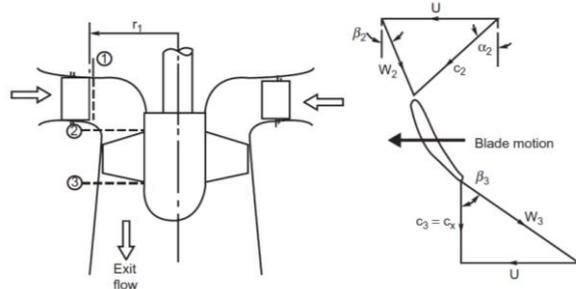
dh/dt : hub to tip ratio (m)

Z : Jumlah sudu runner

D : Diameter terluar sudu runner (m)

Komponen-komponen kecepatan dari runner turbin ditentukan oleh segitiga kecepatan yang terbentuk pada sisi inlet dan outlet dari setiap seksi radial yang dianalisa. Simbol c_2 merupakan kecepatan aliran air masuk runner yang berasal dari sudu pengarah, sudut α_2 adalah besarnya sudut yang tercipta akibat tumbukan air dengan permukaan sudu pengarah yang menyebabkan adanya proyeksi kecepatan absolut terhadap U (C_{u2}), kecepatan aliran c_2 yang menghantam sudu runner menyebabkan sudu runner bergerak dengan kecepatan U, W merupakan kecepatan relatif aliran air pada sudu runner yang

membentuk sudut masuk β_2 dan sudut keluar β_3 pada bagian hub dan tip. Rata-rata sudut masuk dan sudut keluar sudu nantinya digunakan untuk menentukan kemiringan sudu runner. Besarnya kecepatan aksial C_x pada seluruh bagian sudu dianggap sama. Kecepatan aliran air keluar sudu runner c_3 sama dengan kecepatan aksial yang terjadi pada seluruh bagian sudu runner hal ini disebabkan nilai $C_{u3} = 0$. Sebagai ilustrasi dapat dilihat pada gambar 2 sebagai acuan awal akan tetapi bentuk dari segitiga kecepatan tidak selalu seperti ini.



Gambar 2. sketsa turbin kaplan dan diagram segitiga kecepatan sisi masuk dan keluar runner [10]

Kecepatan runner disetiap seksi radial (U_i)

$$U_{tip} = \frac{2\pi nR}{60} \quad (3.5)$$

Keterangan :

U_{tip} : kecepatan runner pada bagian terluar (tip) sudu (m/s)

n : kecepatan putar turbin (rpm)

R : jari-jari tip (m)

a. Selisih proyeksi kecepatan absolut terhadap U (ΔC_u)

$$\Delta C_u = \frac{\eta h g h}{U_i} \quad (3.6)$$

Keterangan:

ηh : efisiensi hidrolik runner (%)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

h : Tinggi Jatuh/head (m)

Perancangan runner juga harus memperhitungkan gaya-gaya yang bekerja diantaranya adalah gaya aksial, tangensial dan sentrifugal, dari gaya-gaya tersebut dapat memprediksi juga distribusi tegangan pada komponen sudu menggunakan SolidWork.

Gaya aksial pada setiap sudu

$$P_a = \frac{\pi}{4Z} (Dt^2 - Dh^2) \gamma H \quad (3.7)$$

Keterangan:

P_a : Gaya aksial (N)

γ : specific gravity air ($\frac{kg}{m^2 s^2}$)

Gaya tangensial

$$P_t = \frac{9,55 HQ\eta}{nR_tZ} \quad (3.8)$$

Keterangan:

P_t : Gaya Tangensial (N)
R_t : jari-jari rata-rata (m)

Gaya sentrifugal

$$P_s = \frac{m}{g} R_t \cdot \omega^2 \quad (3.9)$$

Keterangan:

P_s : Gaya Sentrifugal (N)
ω : kecepatan sudut (rad/s)
m : massa sudu (kg)

Mengevaluasi hasil desain dilanjutkan membuat kesimpulan

3. Hasil dan Pembahasan

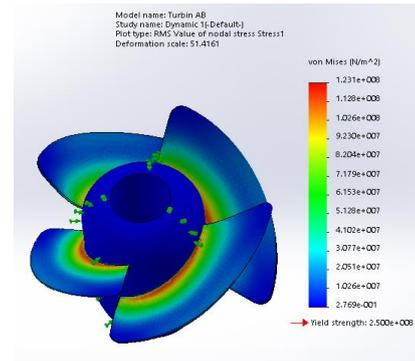
Berdasarkan perhitungan dengan persamaan diatas, maka didapatkan detail *design* yang tercantum dalam tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 1. Detail design runner turbin propeller skala pico hydro

Tipe turbin	Propeller
Bentuk sudu	Plat datar
Jumlah sudu	4
Diameter terluar runner, Dt	0,103 m
Hub to Tip Ratio, dh/Dt	0,5
Tinggi Jatuh (head), H	2 m
Debit Air, Q	25 l/s
Target Putaran Turbin, n	1500 rpm
Daya yang dibangkitkan, P	350 Watt
Kemiringan sudu, β	54,93°
Panjang chord sisi tip	0,081 m
Panjang chord sisi hub	0,04 m
Gaya Aksial	30,65 N
Gaya Sentrifugal	0,761 N
Gaya Tangensial	1,57 N

Analisa Kekuatan Sudu Runner

Analisa kekuatan sudu runner menggunakan simulasi dalam *solidwork*. Analisa kekuatan ini bertujuan untuk memperkirakan tegangan yang terjadi pada sudu runner dan *safety factor* dari perancangan propeller ini.



Gambar 3 Tegangan yang terjadi pada sudu runner

Gambar 3 menunjukkan hasil analisa sudu runner turbin propeller dengan pembebanan dinamik. Gaya-gaya yang dimasukkan adalah gaya aksial, sentrifugal dan tangensial sesuai hasil perhitungan pada tabel 1. Tegangan yang timbul pada sudu runner berdasarkan pendekatan Von Mises paling tinggi adalah $1,23 \times 10^8$ N/m², nilai tersebut masih dibawah nilai *yield strength* material (ASTM A36 *Stell*) sebesar $2,5 \times 10^8$ N/m². Berdasarkan nilai tegangan yang dihasilkan dari simulasi beban dinamik diatas diperoleh juga angka keamanan (*factor of safety*) dari desain runner turbin propeller tersebut sebesar 2,03 cukup aman karena menurut [11] jika desain tersebut memenuhi kriteria sebagai berikut, komponen dengan properti material diketahui melalui *handbook*, beban dinamik atau statik dianalisa dengan metode yang akurat yaitu metode Von Misses, toleransi dimensi dalam proses produksinya tidak terlalu ketat, analisa kegagalan cukup melalui simulasi, kehandalan material antara 92-98%, adalah sebesar 1,85.

4. Kesimpulan

Dari seluruh proses perhitungan dan perencanaan runner turbin propeller yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Berdasarkan variabel yang telah ditentukan yaitu debit air 25 l/s, tinggi jatuh (head) 2 m dan target putaran turbin 1500 rpm maka didapatkan desain runner turbin propeller terbaik dengan diameter luar 0,103 m, diameter hub 0,515 m, jumlah sudu 4 dengan profil plat datar dan ditargetkan mampu membangkitkan daya sebesar 490 W.
2. Effisiensi turbin yang direncanakan berdasarkan hitungan teoritis sebesar 76%.

Daftar Pustaka

- [1] PT PLN. 2013. *Statistik PLN 2013*. Jakarta: PT.PLN
- [2] ESDM.2014. *Handbook Of Energy & Economic statistic of Indonesia*. Jakarta: Center of Energy and Mineral Resources Data and Information on Energy and Mineral Resources.
- [3] A.A. Lahimer, M.A. Alghoul, K. Sopian, Nowshad Amin, Nilofar Asim, M.I. Fadhel.

2012. *Research and Development Aspect of Pico-Hydro*. Renewable and sustainable Energy Review 16 (2012) 5861-5878
- [4] G . Yadav, A.K. Chauhan. 2014. *Design and Development of Pico Micro Hydro System by Using Hold Water Supply*.IJRET. Vol 03 Special Issue 10.
- [5] A. Pradhuma, B. Umesh., R. T Shiva., M. Saurav., R. B. Tri. 2014. *A Study on Developing Pico Propeller Turbine for Low Head Micro Hydropower Plants in Nepal*. Journal of the Institute of Engineering, Vol. 9, No. 1, pp. 36–53
- [6] Singh,N. 2012. *Reverse Engineering – A General Review*.IJAERS Vol. II
- [7] M. Panchetti, J.P. Pernot., P. Véron. 2010. *Towards Recovery of Complex Shapes in Meshes Using Digital Images for Reverse Engineering Applications*. Computer-Aided Design 42 (2010) 693_707
- [8] W. Bambang. 2012. *Reverse Engineering Sebagai Basis Design Pengembangan Mobil Mini Truk ESEMKA*.Yogyakarta: SNAS periode III.
- [9] F. Dietzel. 1980. *Turbin, Pompa dan Kompresor*. Alih Bahasa Ir. Dakso Sriyono. Jakarta:Erlangga.
- [10] S. L . Dixon., C. A. Hall. 1998. *Fluid mechanics and thermodynamics of turbomachinery (4th ed.)*. Amsterdam ; Boston: Butterworth-Heinemann.
- [11] Ullman. D.G.1994.*The Mechanical Design Process 4th edition*.New York: McGraw Hill