PROTON: Jurnal Ilmu-ilmu Teknik Mesin
E-ISSN: 2721-2874
P-ISSN: 2086-2962

Analisa Turbine Crossflow Mini Microhidro dengan Variasi Blade menggunakan Simulasi CFD

Rizky Prima Yolanda[1], Nurida Finahari[2]✉, Leo Hutri Wicaksono[3]

[1,2,3] Prodi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Widya Gama
Jl. Taman Borobudur Indah No.1, Malang, Indonesia
✉*Corresponding author*: nurida@widyagama.ac.id

Diterima Redaksi : 15 Januari 2023
Selesai Revisi : 2 Mei 2023
Diterbitkan Online : 22 Mei 2023

Abstract

The need for electricity is very important in the current era. However, there are still areas in Indonesia that have not received electricity, and there are also areas that have received electricity but experience rolling blackouts for several days a week. To overcome this, an alternative power plant is needed, namely a mini micro hydro power plant. The turbine in this power plant is able to function with water discharge below 10 meters, but can produce electrical power above 600 W to meet the electricity needs of each house adjacent to the water source. Given the natural resources (water sources) that are still abundant, it is unfortunate if they cannot be utilized properly. Another interesting factor of this mini-microhydro power plant is that the technology is relatively simple, and easily applied to areas that have mountainous topography and many rivers. In the process of making turbines, simulation steps are needed in the experiment so that it does not require a lot of money in the experiment, but produces a design that has high efficiency. From the analysis of the design simulation results, it can be concluded that the mini micro hydro crossflow turbine with 29 blades at a rotational speed of 700 rpm has the largest power and torque, namely 15.6 KW power and 210 N/m torque..

Keywords**:** *cross flow turbine; micro hydro; computational fluid dynamics; power turbine.*

Abstrak

Kebutuhan listrik sangat penting di era saat ini. Namun, masih ada daerah di Indonesia yang belum mendapatkan aliran listrik, dan ada juga daerah yang telah mendapatkan aliran listrik namun mengalami pemadaman bergilir selama beberapa hari dalam seminggu. Untuk mengatasi hal tersebut, diperlukan pembangkit listrik alternatif, yaitu pembangkit listrik mini mikrohidro. Turbin pada pembangkit listrik ini mampu berfungsi dengan debit air di bawah 10 meter, tetapi bisa menghasilkan daya listrik di atas 600 W untuk memenuhi kebutuhan listrik pada setiap rumah yang berdekatan dengan sumber air. Mengingat sumber daya alam (sumber air) yang masih melimpah, sangat disayangkan jika tidak dapat dimanfaatkan dengan baik. Faktor lain yang menarik dari pembangkit listrik tenaga mini-mikrohidro ini adalah teknologinya relatif sederhana, serta mudah diterapkan pada daerah yang mempunyai topografi bergunung dan banyak mempunyai sungai. Dalam proses pembuatan turbin, langkah simulasi dibutuhkan dalam percobaannya sehingga tidak membutuhkan biaya yang banyak dalam percobaan, tetapi menghasilkan desain yang memiliki efisiensi tinggi. Dari hasil analisa hasil simulasi desain yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa turbine crossflow mini mikrohidro dengan blade 29 pada kecepatan putar 700 rpm memiliki power beserta torsi terbesar, yaitu power 15,6 KW dan torsi 210 N/m.

Kata kunci: turbin crossflow; mikrohidro; *computational fluids dynamics*; turbin listrik.

1. Pendahuluan

Kebutuhan listrik sangat penting di era saat ini. Namun, masih ada daerah di Indonesia yang belum mendapatkan aliran listrik, dan ada juga daerah yang telah mendapatkan aliran listrik namun mengalami pemadaman bergilir selama beberapa hari dalam seminggu [1]. Sebagai contoh, di provinsi Sulawesi Tenggara, sering terjadi pemadaman listrik karena pembangkit listrik pada daerah tersebut masih menggunakan PLTD (Pembangkit Listrik Tenaga Diesel). Apalagi jika pasokan BBM (Bahan Bakar Minyak) terganggu, maka pemadaman akan lebih sering terjadi [2].

Pemadaman listrik disebabkan oleh keterlambatan pengiriman pasokan BBM ke PLTD tersebut, sedangkan kebutuhan listrik merupakan hal vital pada saat ini. Namun, jika dilihat dari peta lokasi potensial PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro), lokasi tersebut masih memungkinkan untuk dibangun PLTMH [3]. Hal ini dapat mengurangi ketergantungan pada PLTD yang ada. Berikut adalah peta potensi energi PLTMH di Indonesia:

Gambar 1. Potensi energi PLTMH

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan pembuatan pembangkit listrik dengan tenaga turbin ukuran mini sehingga hanya membutuhkan ketinggian air dan debit air dalam skala mini [4]. Mengingat sumber daya alam di sana (sumber air) yang masih melimpah, sangat disayangkan jika tidak bisa dimanfaatkan dengan baik. Faktor lain yang menarik dari pembangkit listrik tenaga mini-mikrohidro ini adalah teknologinya yang relatif sederhana, serta mudah diterapkan pada daerah yang mempunyai topografi bergunung dan banyak mempunyai sungai [5]. Potensi sumber energi yang sangat besar tersebut sangat menjanjikan bilamana direncanakan secara matang. Selain itu, turbin juga harus seefisien mungkin menghasilkan daya listrik mengingat pembangkit listrik ini adalah pembangkit listrik mikrohidro. Kebanyakan jenis pembangkit listrik mikrohidro yang dipakai untuk daerah pedalaman saat ini masih menggunakan tipe Water Mill, yang efisiensinya masih rendah dibandingkan dengan menggunakan tipe crossflow [6]. Turbin Crossflow dapat menjadi salah satu pilihan yang digunakan untuk pembangkit listrik mini-mikrohidro [7].

Dalam mendesain ataupun menguji turbin, diperlukan sebuah metode yang dapat menjelaskan fenomena ilmiah yang terjadi pada mesin tersebut, sehingga dapat diambil pertimbangan apakah desain tersebut layak digunakan atau tidak. Saat ini, penggunaan metode numerik dengan pemanfaatan komputer sudah banyak dilakukan, hal ini berguna mempermudah proses analisa pada alat yang akan dibuat [8].

Computational Fluid Dynamics (CFD) adalah pemanfaatan komputer untuk menghasilkan informasi tentang bagaimana fluida mengalir pada kondisi tertentu. CFD digunakan untuk membuat prediksi aliran fluida di dalam suatu sistem tertentu pada suatu kondisi yang

ditentukan [9]. Dengan menggunakan CFD, prediksi aliran fluida di berbagai sistem dapat dilakukan dengan biaya yang lebih murah dan waktu yang lebih cepat dibandingkan dengan metode eksperimen seperti menggunakan terowongan angin (wind tunnel). Hasil prediksi aliran fluida menggunakan CFD juga lebih lengkap dibandingkan metode eksperimen yang banyak terbentur masalah ketersediaan, presisi, dan akurasi alat ukur. CFD mencakup berbagai disiplin ilmu termasuk matematika, ilmu komputer, fisika, dan teknik. Untuk membuat prediksi aliran fluida dengan menggunakan CFD, diperlukan pemahaman tentang bagaimana fluida bergerak pada suatu bidang. Karena kompleksnya permasalahan aliran fluida, maka untuk memahami pergerakan fluida terlebih dahulu harus memahami sifat dari aliran fluida tersebut [10].

Analisis CFD memiliki potensi besar untuk menghemat waktu dalam proses desain dan oleh karena itu lebih murah dan lebih cepat dibandingkan dengan pengujian konvensional untuk akuisisi data. Selanjutnya, dalam pengujian kehidupan nyata, jumlah kuantitas terbatas diukur pada satu waktu, sementara dalam analisis CFD, semua kuantitas yang diinginkan dapat diukur sekaligus, dan dengan resolusi tinggi dalam ruang dan waktu.

Karena CFD menganalisa perkiraan solusi fisik yang nyata, perlu dicatat bahwa analisis CFD ini tidak dapat sepenuhnya mengecualikan prosedur pengujian fisik. Oleh karena itu, pengujian tes tujuan verifikasi harus tetap dilakukan.

2. Metode Penelitian

Penelitian oleh tentang simulasi turbin crossflow pada komponen pembangkit picohydro. Simulasi dari turbin crossflow dengan sudu 18 buah menghasilkan kecepatan rotasi sudu sebesar 16.5 rad/s atau angular velocity sebesar 157.5633 rpm, dan moment sebesar 290.39 Nm.

Penelitian oleh mengemukakan bahwa pembangkit mikrohidro berpotensi dikembangkan di daerah pedesaan terutama di wilayah Sungai Serayu-Opak dengan potensi sebesar 26 MW.

Duta menyatakan bahwa pembangkit listrik tenaga mikrohidro sebagai salah satu cara agar krisis energi listrik dapat dihindari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa unjuk kerja terbaik model turbin ulir dua blade yang meng-hasilkan daya output generator paling besar terjadi pada sudut kemiringan 30º.

Purwanto melakukan penelitian pemanfaatan PLTMH di daerah Desa Karangtengah dan Desa Purbasasri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PLTMH Desa Karangtengah dan Desa Purbasasri yang secara langsung memasok kebutuhan listrik masyarakat berdampak nyata terhadap perekonomian Masyarakat.

Variable dalam mendesain adalah sebagai berikut:

- Variable bebas: Ketingian *head*, Jumlah *Blade*.
- Variable Terkontrol: Lebar *Runner*, Diameter *Runner, Debit* Air.

Prosedur simulasi

Prosedur yang dilakukan pada Simulasi CFD adalah:

1. Pembuatan *Model Geometry Turbine*.
   a. Pengaturan *mesh* dari *geometry*
   b. Penentuan *wall Layering* pada *Mesh*
2. Mendefisikan material yang ada pada Model
   a. Penentuan bagian area aliran yang statis
   b. Pendefinisian area fluida yang berputar pada turbin
   c. Pengaturan blade pada *runner* yang dikenali sebagai area *solid*
3. Penenentuan syarat batas (*boundary condition*)

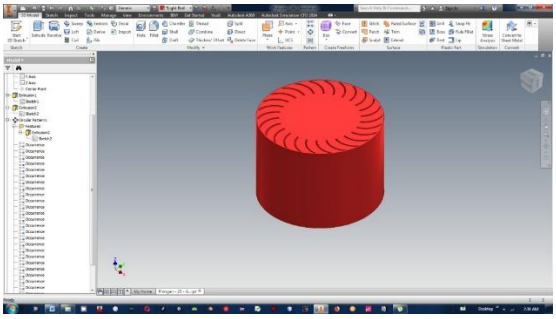
a. Pendefinisian area *inlet*, mengacu pada kecepatan fluida yang di peroleh dari hasil perhitungan.
b. Penentuan area *oulet* pada model turbin
c. Pendefinisian area putar fluida, berdasarkan dari *inersia* yang dibutuhkan untuk menggerakan turbin.

4. Menjalankan simulasi
   a. Pendefinisian banyaknya *iterasi* yang dilakukan
   b. Pengecakan hasil simulasi apakah *convergent* atau *divergent*

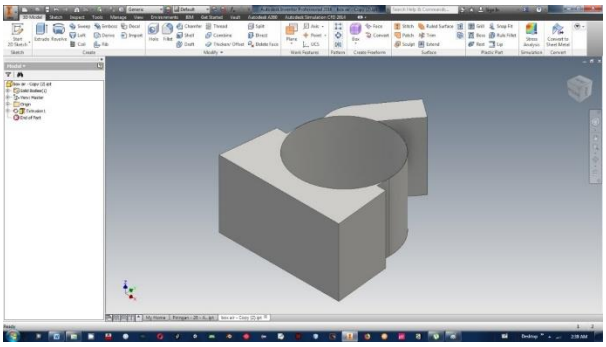
3. Hasil dan Pembahasan

Pembuatan model menggunakan inventor

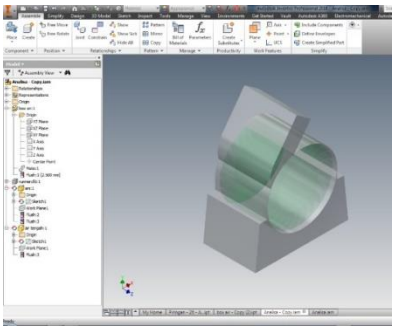
Model yang dibuat antara lain Domain statis dan domain dinamis. Domain dinamis adalah bagian yang dapat berputar dan dimodelkan dalam bentuk part pada autodesk inventor sebagai berikut:



Gambar 2. Domain dinamis



Gambar 3. Domain statis

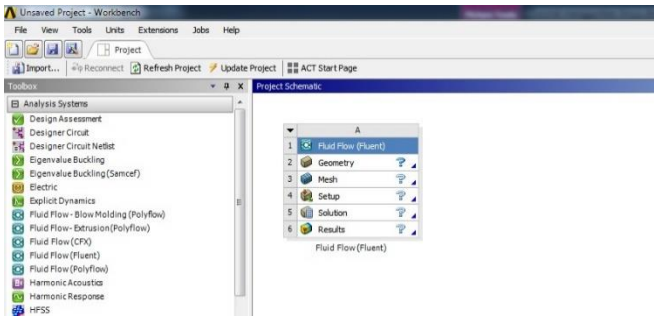


Gambar 3. Gabungan domain statis dan dinamis

Kemudian export assembly tersebut dalam bentuk step melalui langkah sebagai berikut: Buka file – export – pilih CAD Format, dan pilih STEP file.

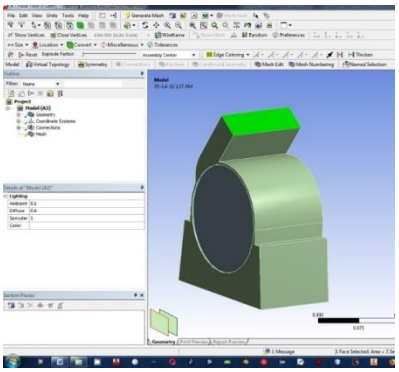
Pembuatan Mesh Geometry

Setelah membuka ANSYS, jendela awal yang terbuka akan tampak sebagai berikut, pada toolbox di sebelah kiri pilih modul FluidFlow fluent kemudian geser ke jendela Poject Scematic seperti pada gambar:

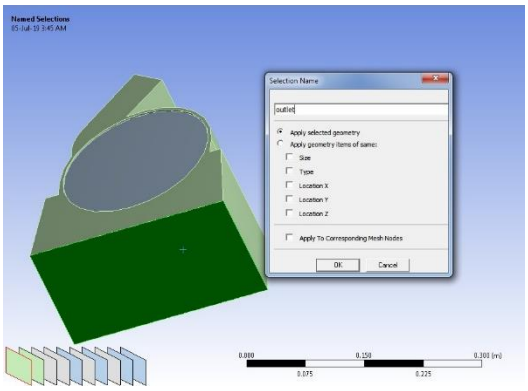


Gambar 2. Fluid flow pada Ansys

Kemudian import geometry yang telah dibuat sebelumnya. Selanjutnya adalah membuat mesh dari geometry tersebut. MESH bertujuan untuk membuat inisialisasi pada ANSYS, inlet, outlet, rotating region, domain, dan bagian blade, serta betujuan untuk mengatur resolusi dari mesh pada object yang akan disimulasikan. Selanjutnya adalah memilih inlet dan outlet.



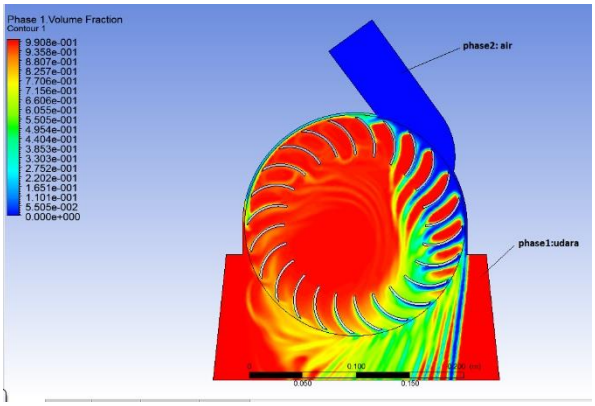
Gambar 6. Inlet



Gambar 7. Outlet

Hasil Simulasi

Simulasi yang digunakan , menggunakan mode transient, dengan menggunakan turbulent model K-omega SST, serta phase yaitu udara dan air untuk tipe multi phasenya.saat inisialisasi awal phase 1: udara dikenali dengan area warna merah pada gambar dan phase 2: air dikenali dengan warna biru.



Gambar 8. Simulasi CFD turbin

Hasil dari simulasi dilihat menggunakan mode mixture yang artinya udara dan air dalam turbin telah terjadi percampuran , dimana kecepatan air masuk pada inlet adalah 10.8 m/s pada ketinggian head 6 meter.

Tabel 1. Hasil simulasi CFD

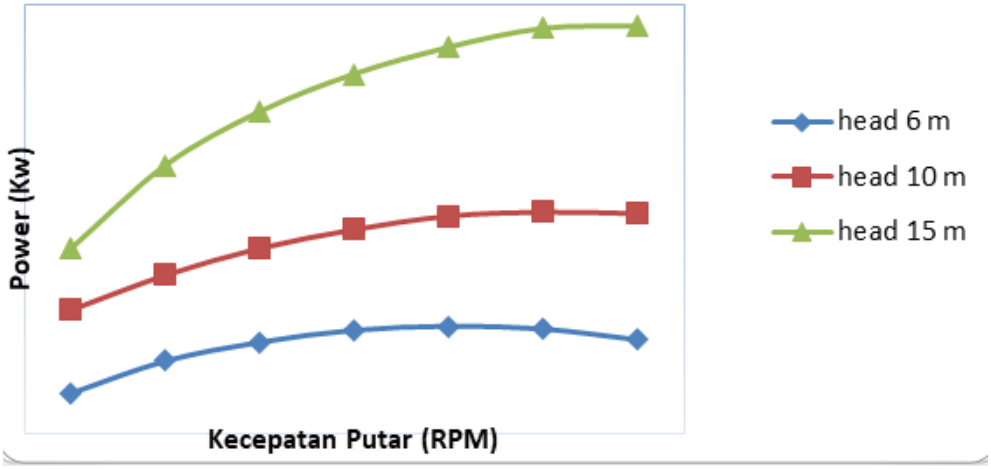
H	V	Runner		Blade
		L	D	
6 m	10.8 m/s	240	200	24
	14 m/s	240	200	24
	17 m/s	240	200	24
10 m	10.8 m/s	240	200	26
	14 m/s	240	200	26
	17 m/s	240	200	26
15 m	10.8 m/s	240	200	29
	14 m/s	240	200	29
	17 m/s	240	200	29

Tabel 1 menyajikan hasil simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) yang mengevaluasi pengaruh variasi tinggi air (H) dan kecepatan aliran (V) terhadap desain runner dan jumlah blade pada sistem turbin. Dalam simulasi ini, tinggi air divariasikan pada tiga level, yaitu 6 meter, 10 meter, dan 15 meter, sementara kecepatan aliran diuji pada tiga nilai, yaitu 10,8 m/s, 14 m/s, dan 17 m/s. Parameter dimensi runner, yaitu panjang (L) dan diameter (D), tetap dipertahankan konstan dengan nilai masing-masing 240 dan 200, yang menunjukkan bahwa dimensi runner tidak menjadi variabel dalam simulasi ini.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa jumlah blade atau bilah pada runner mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya tinggi air. Pada tinggi 6 meter, jumlah blade yang digunakan adalah 24. Ketika tinggi air dinaikkan menjadi 10 meter, jumlah blade bertambah

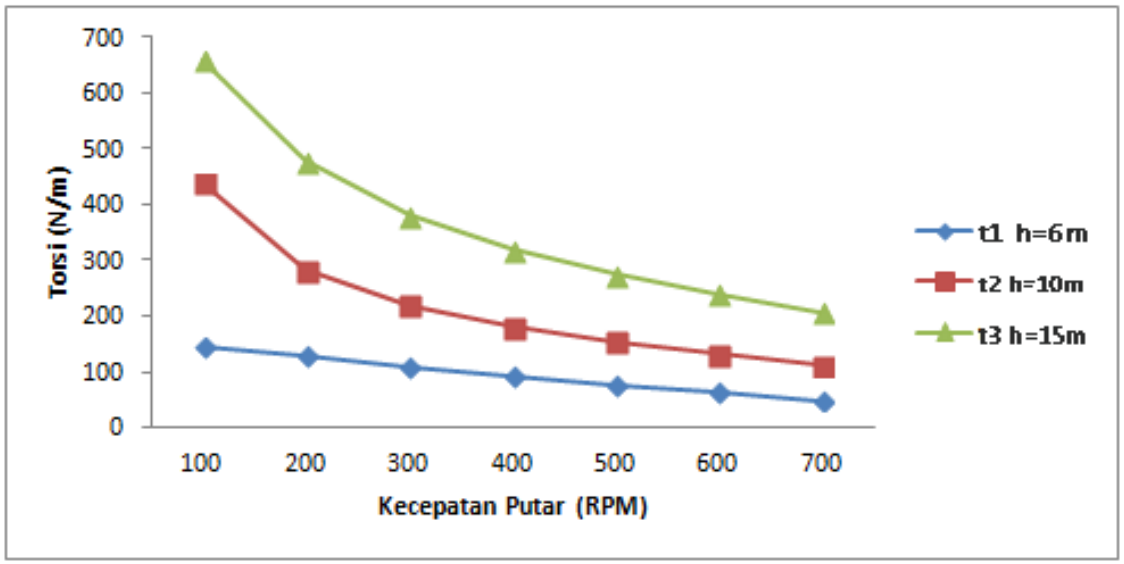
menjadi 26, dan pada tinggi maksimum 15 meter, jumlah blade meningkat lebih lanjut menjadi 29. Menariknya, meskipun kecepatan aliran divariasikan pada setiap level ketinggian, jumlah blade yang digunakan tidak berubah untuk setiap nilai H, yang mengindikasikan bahwa dalam rentang kecepatan yang diuji, jumlah blade lebih dipengaruhi oleh tinggi air daripada kecepatan aliran.
Temuan ini mengarah pada kesimpulan sementara bahwa dalam konteks desain turbin yang diuji, peningkatan energi potensial akibat kenaikan tinggi air memerlukan penambahan jumlah blade untuk mengoptimalkan penyerapan energi fluida. Kecepatan aliran, meskipun berpotensi memengaruhi performa, tampaknya tidak memberikan dampak signifikan terhadap jumlah blade yang dibutuhkan dalam konfigurasi yang diuji.

Variasi 24 blade



Gambar 3. Grafik power dan kecepatan putar yang dihasilkan turbin 24 blade

Grafik pada gambar 9 di atas menunjukkan hubungan antara kecepatan putar (RPM) dan daya keluaran (Power) dalam kilowatt (kW) pada variasi jumlah blade sebanyak 24, untuk tiga kondisi tinggi air (head), yaitu 6 meter, 10 meter, dan 15 meter.
Dari grafik dapat diamati bahwa semakin besar tinggi air (head), semakin besar pula daya yang dihasilkan pada setiap tingkat kecepatan putar. Garis hijau (head 15 m) menunjukkan daya tertinggi di semua rentang RPM, diikuti oleh garis merah (head 10 m), dan yang terendah adalah garis biru (head 6 m). Ini mengindikasikan bahwa daya sangat dipengaruhi oleh tinggi air, yang berkaitan langsung dengan energi potensial fluida.
Pada semua variasi head, daya meningkat seiring dengan kenaikan kecepatan putar, meskipun laju peningkatannya berbeda-beda. Pada head 15 meter, peningkatan daya bersifat signifikan dan cenderung linier mendekati saturasi pada RPM tinggi. Pada head 10 meter, peningkatan daya juga cukup jelas, namun mulai melandai pada RPM tinggi. Sementara itu, pada head 6 meter, peningkatan daya relatif kecil dan cenderung mencapai puncaknya pada titik tertentu sebelum sedikit menurun, yang bisa mengindikasikan efisiensi turbin menurun pada RPM tinggi dalam kondisi head rendah.



Gambar 4. Grafik torsi dan kecepatan putar yang dihasilkan turbin 24 blade

Dari grafik diatas menunjukkan turbin yang menggunakan 24 blade dengan ketinggian 6 m menghasilkan torGambar 10 menunjukkan hubungan antara torsi (Nm) dan kecepatan putar (RPM) yang dihasilkan oleh turbin dengan jumlah 24 blade, pada tiga variasi tinggi air (head), yaitu 6 meter (t1), 10 meter (t2), dan 15 meter (t3).

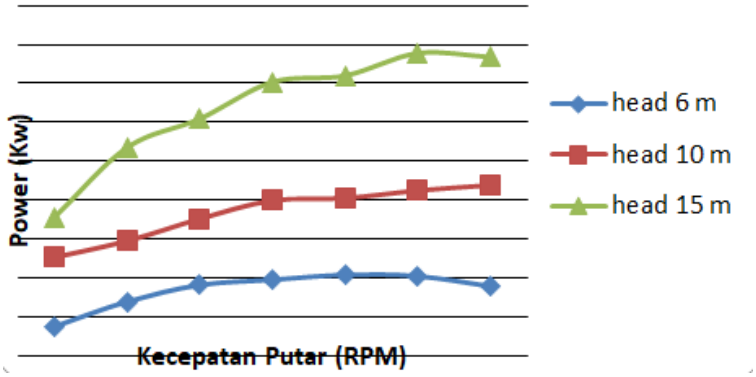
Dari grafik ini terlihat pola umum bahwa torsi menurun seiring meningkatnya kecepatan putar (RPM) untuk semua variasi head. Hal ini sesuai dengan karakteristik umum sistem mekanik, di mana torsi cenderung lebih besar pada putaran rendah dan akan menurun ketika kecepatan meningkat.

Pada tinggi air 15 meter (t3), nilai torsi awal paling tinggi, yaitu sekitar 650 Nm pada 100 RPM, kemudian secara bertahap menurun hingga sekitar 200 Nm pada 700 RPM. Pola penurunan serupa juga terlihat pada head 10 meter (t2), dimulai dari sekitar 450 Nm dan menurun ke kisaran 120 Nm. Sementara itu, pada head 6 meter (t1), torsi yang dihasilkan adalah yang paling rendah sepanjang rentang RPM, dimulai dari sekitar 130 Nm dan menurun hingga mendekati 50 Nm.

Grafik ini menegaskan bahwa tinggi air (head) berpengaruh besar terhadap besarnya torsi yang dihasilkan: semakin tinggi head, semakin besar torsi yang mampu dihasilkan oleh turbin, terutama pada kecepatan putar rendah. Hal ini mencerminkan peningkatan energi potensial fluida yang ditransformasikan menjadi energi mekanik oleh turbin.

Secara keseluruhan, grafik ini menggambarkan performa torsi dari turbin 24 blade yang menurun terhadap RPM, namun meningkat terhadap head, memberikan wawasan penting dalam menentukan konfigurasi operasional optimal turbin berdasarkan kondisi aliran yang tersedia.si yang paling rendah pada kecepatan putar 700rpm yaitu dibawah 100 N/m,, sedangkan turbin yang menggunakan 24 blade dengan ketinggian 15m menghasilkan torsi yang paling tinggi pada kecepatan putar 700rpm yaitu diatas 200N/m.

Variasi 26 blade

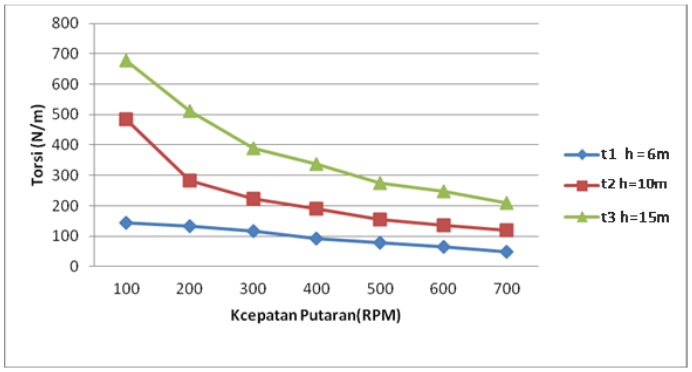


Gambar 11. Grafik power dan dan kecepatan putar yang dihasilkan turbin 26 blade

Grafik di atas menunjukkan hubungan antara daya keluaran (Power) dalam kilowatt (kW) terhadap kecepatan putar (RPM) pada tiga variasi tinggi air (head): 6 meter, 10 meter, dan 15 meter. Meskipun label tidak disebutkan secara eksplisit, grafik ini tampaknya merupakan kelanjutan dari analisis performa turbin dengan jumlah 26 atau 29 blade, mengingat grafik sebelumnya telah membahas 24 blade.

Dari grafik ini dapat diamati bahwa pada setiap level head, daya yang dihasilkan meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan putar, hingga mencapai titik maksimum tertentu. Setelah titik tersebut, terutama terlihat pada head 6 meter dan sedikit pada head 10 meter, daya mulai menurun meskipun RPM bertambah. Ini menunjukkan adanya titik efisiensi maksimum, setelah itu terjadi penurunan performa karena berbagai kemungkinan faktor, seperti kehilangan energi akibat gesekan, turbulensi, atau performa blade yang menurun pada kecepatan tinggi.

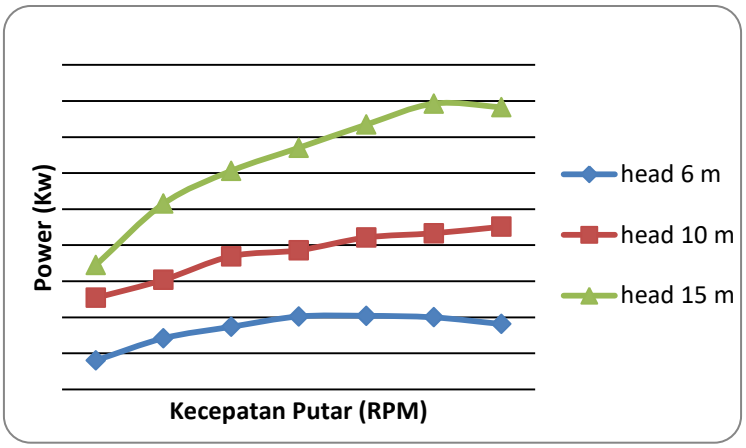
Pada head 15 meter, daya yang dihasilkan paling tinggi pada seluruh rentang kecepatan putar. Ini menunjukkan bahwa semakin tinggi head, semakin besar potensi energi yang bisa dikonversi menjadi daya mekanik oleh turbin. Sebaliknya, pada head 6 meter, daya yang dihasilkan jauh lebih rendah dan cenderung mendatar, bahkan menurun pada RPM tinggi.Secara keseluruhan, grafik ini menunjukkan bahwa performa turbin sangat dipengaruhi oleh tinggi air. Daya meningkat dengan kecepatan putar hingga titik optimum, lalu menurun setelahnya. Informasi ini penting untuk menentukan kecepatan operasional optimal pada setiap kondisi head agar turbin bekerja dengan efisien.



Gambar 125. Grafik torsi dan kecepatan putar yang dihasilkan turbin 26 blade

Dari grafik di atas menunjukkan turbin yang menggunakan 26 blade dengan ketinggian 6 m pada kecepatan putar 700rpm menghasilkan torsi yang paling sedikit yaitu 60N/m, sedangkan turbin yang menggunakan 2Grafik ini memperlihatkan hubungan antara torsi (Nm) dan kecepatan putar (RPM) pada turbin yang diuji dengan tiga variasi head atau tinggi air, yaitu 6 meter (t1), 10 meter (t2), dan 15 meter (t3).
Secara umum, grafik menunjukkan bahwa torsi menurun secara konsisten seiring dengan bertambahnya kecepatan putar. Hal ini merupakan karakteristik umum pada sistem mekanik seperti turbin: torsi cenderung lebih besar pada kecepatan rendah karena gaya dorong fluida lebih mampu memberi pengaruh signifikan pada awal putaran. Namun, ketika kecepatan putar meningkat, gaya dorong tersebut tersebar lebih cepat dan kehilangan efisiensi, sehingga torsi menurun.
Pada head 15 meter (t3), torsi yang dihasilkan adalah yang paling besar di seluruh rentang RPM, dimulai dari sekitar 680 Nm pada 100 RPM dan menurun menjadi sekitar 220 Nm pada 700 RPM. Pada head 10 meter (t2), torsi awal sekitar 450 Nm dan menurun hingga sekitar 150 Nm. Sementara itu, pada head 6 meter (t1), torsi berkisar antara 130 Nm hingga 90 Nm, menjadikannya yang paling kecil di antara ketiganya.
Perbedaan ini menunjukkan bahwa tinggi air (head) memainkan peran penting dalam menghasilkan torsi. Semakin besar head, semakin besar energi potensial air yang dapat dikonversi menjadi energi mekanik berupa torsi. Turbin yang dioperasikan pada head lebih tinggi akan menghasilkan daya puntir yang lebih besar meskipun kecepatan putarnya tinggi6 blade dengan ketinggian 15m pada kecepatan putar 700rpm menghasilkan torsi yang paling besar yaitu 205N/m.

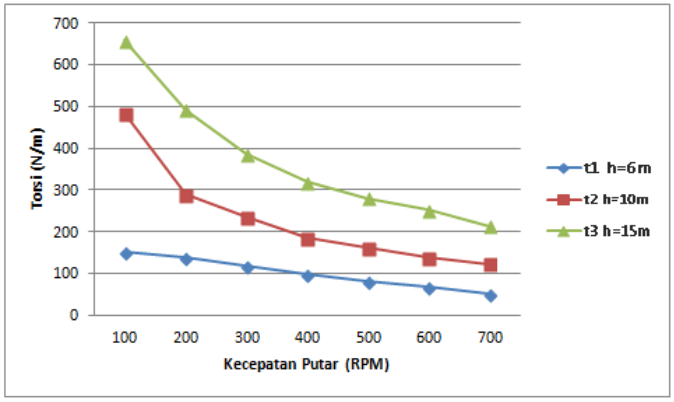
Variasi 29 blade



Gambar 6. Grafik power dan kecepatan putar yang dihasilkan turbin 29 blade

Grafik di atas menampilkan hubungan antara daya (Power) dalam kilowatt (kW) dan kecepatan putar (RPM) pada turbin dengan variasi 29 blade, untuk tiga kondisi tinggi air (head): 6 meter, 10 meter, dan 15 meter.
Dari grafik ini terlihat bahwa secara umum, daya meningkat seiring bertambahnya kecepatan putar, meskipun laju kenaikannya berbeda tergantung pada head. Untuk head 15 meter, daya meningkat secara signifikan seiring bertambahnya RPM, mencapai titik maksimum sebelum sedikit menurun di kecepatan tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa pada head tinggi, turbin mampu menghasilkan daya yang besar dan memiliki rentang operasi efisien yang luas.

Pada head 10 meter, daya juga meningkat secara konsisten, namun dengan laju yang lebih moderat dibandingkan head 15 meter. Grafik menunjukkan tren naik yang cukup stabil tanpa penurunan signifikan di RPM tinggi, mengindikasikan performa yang relatif stabil.
Sementara itu, pada head 6 meter, daya yang dihasilkan lebih rendah dan cenderung stagnan pada kecepatan tinggi. Setelah mencapai puncaknya, daya bahkan sedikit menurun, menandakan adanya batas efisiensi pada konfigurasi ini. Ini mencerminkan keterbatasan energi potensial yang tersedia pada head rendah.
Secara keseluruhan, grafik ini mengonfirmasi bahwa semakin tinggi head, semakin besar daya yang dihasilkan oleh turbin 29 blade. Selain itu, konfigurasi ini juga menunjukkan bahwa efisiensi maksimal tercapai pada kombinasi tertentu antara RPM dan head, terutama pada kondisi head tinggi. Informasi ini sangat penting dalam menentukan pengoperasian optimal turbin untuk menghasilkan daya maksimal dengan efisiensi tinggi.



Gambar 14. Grafik torsi dan kecepatan putar yang dihasilkan turbin 29 blade

Grafik di atas menunjukkan hubungan antara torsi (Nm) dan kecepatan putar (RPM) pada turbin dengan 29 blade, yang diuji pada tiga variasi tinggi air (head): 6 meter (t1), 10 meter (t2), dan 15 meter (t3).
Secara umum, tampak bahwa torsi menurun secara signifikan seiring dengan meningkatnya kecepatan putar pada semua variasi head. Pola ini menunjukkan karakteristik sistem turbin dimana gaya dorong awal dari air (yang besar pada RPM rendah) menghasilkan torsi maksimum, namun semakin cepat turbin berputar, gaya ini tidak lagi menghasilkan torsi sebesar sebelumnya karena perubahan momentum fluida menjadi kurang efektif.
Pada head 15 meter (t3), torsi awal sangat tinggi, yaitu sekitar 660 Nm pada 100 RPM, dan terus menurun menjadi sekitar 250 Nm pada 700 RPM. Ini menunjukkan bahwa head yang tinggi mampu menghasilkan gaya dorong air yang besar, sehingga menghasilkan torsi besar meskipun kemudian berkurang dengan naiknya kecepatan.
Pada head 10 meter (t2), tren penurunan torsi juga terlihat jelas. Dimulai dari sekitar 470 Nm, torsi menurun menjadi sekitar 130 Nm. Sedangkan pada head 6 meter (t1), torsi yang dihasilkan relatif rendah dan memiliki nilai paling kecil di antara ketiganya, dengan kisaran 130 Nm pada 100 RPM dan sekitar 70 Nm pada 700 RPM.

4. Kesimpulan

Ketinggian head memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kecepatan aliran air yang masuk ke turbin. Dalam konteks ini, ketinggian minimum yang dibutuhkan agar turbin dapat beroperasi secara optimal adalah sebesar 6 meter. Semakin tinggi head yang digunakan, maka semakin besar pula kecepatan air jatuh yang dihasilkan, sehingga energi kinetik yang tersedia untuk menggerakkan turbin pun meningkat.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa peningkatan ketinggian head secara langsung berdampak pada peningkatan daya yang dihasilkan oleh turbin. Hal ini ditunjukkan dengan nilai daya tertinggi yang diperoleh pada kondisi ketinggian 15 meter dan kecepatan putar 700 RPM, yaitu sebesar 15,6 kW. Kondisi tersebut terjadi pada turbin dengan konfigurasi 29 blade, yang menunjukkan performa paling optimal di antara variasi lainnya.

Selain itu, jumlah blade juga terbukti memengaruhi besarnya energi yang dihasilkan. Semakin banyak jumlah blade yang digunakan, maka kecepatan putar turbin cenderung meningkat, yang pada akhirnya akan meningkatkan daya keluaran. Hal ini terlihat jelas pada grafik torsi, di mana torsi maksimum tercatat pada turbin dengan 29 blade pada kecepatan putar 700 RPM, yaitu sebesar 210 N·m. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa baik ketinggian head maupun jumlah blade merupakan faktor penting dalam optimalisasi kinerja turbin, yang secara langsung memengaruhi daya dan torsi yang dihasilkan.

Daftar Pustaka

[1] S. Choerunnisa and A. R. Nugraha, "Strategi Manajemen Krisis Humas Pln Uid Jabar Dalam Menangani Blackout Jaringan Jawa Bagian Tengah," *Communiverse J. Ilmu Komun.*, vol. 5, no. 2, pp. 137–150, 2020.

[2] E. A. Kumalasari, "Peranan Perusahaan Migas Asing terhadap Ketersediaan Energi Indonesia." 2013.

[3] N. Ma'Ali, "Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Kepung Kabupaten Kediri," *Surabaya Inst. Teknol. Sepuluh Nop.*, 2017.

[4] H. P. Dewanto, D. A. Himawanto, and S. I. Cahyono, "Pembuatan dan pengujian turbin propeller dalam pengembangan teknologi pembangkit listrik tenaga air piko hidro (PLTA-PH) dengan variasi debit aliran," *J. Tek. Mesin Indones.*, vol. 12, no. 2, pp. 54–62, 2017.

[5] R. D. Setiawan, T. Cimurti, R. Kurniawan, and D. Hermawan, "Pemanfaatan Gelombang Air Laut Untuk Pembangkit Tenaga Listrik Mini Berbasis Mikrohidro System," *Prot. J. Ilmu-Ilmu Tek. Mesin*, vol. 5, no. 2, p. 222239, 2013.

[6] H. Y. S. H. Nugroho and M. K. Sallata, *PLTMH (pembangkit listrik tenaga mikro hidro): panduan lengkap membuat sumber energi terbarukan secara swadaya*. Penerbit Andi, 2015.

[7] H. Z. Kotta and D. Wintolo, *Energi terbarukan: konsep dasar menuju kemandirian energi*. UGM PRESS, 2018.

[8] S. Dharma, "Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD) Pada Turbin Screw Archimedes Skala Kecil: Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD) Pada Turbin Screw Archimedes Skala Kecil," *ABEC Indones.*, vol. 9, 2021.

[9] L. R. Krisnanda, A. Santoso, and T. F. Nugroho, "Analisa Laju Erosi pada Elbow Pipa Karena Partikel Pasir Dalam Aliran Fluida Gas Menggunakan Simulasi CFD," *J. Tek. ITS*, vol. 8, no. 2, pp. B57–B62, 2020.

[10] F. Widyantama, D. Suanggana, and G. Gunawan, "Simulasi CFD Pengaruh Penggunaan Deflektor Pelat Lengkung terhadap Performa Turbin Air Savonius Sumbu Vertikal Dua Sudu," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 16, no. 2, pp. 234–240, 2021.