

INVESTIGASI MODEL NUMERIK TURBIN REAKSI VORTEX ULTRA-LOW HEAD DENGAN MEMVARIASIKAN JUMLAH GRID DAN METODE PEMECAHAN SOLUSI

Muhamad Safi'i^{1)*}, Nazaruddin Sinaga²⁾, Muhamad Shohibun Amin³⁾

^{1)*} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al Qur'an Jawa Tengah di Wonosobo

²⁾ Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

³⁾ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar Magelang

Email: muhamadsafii17@unsiq.ac.id.

ABSTRAK

Penggunaan energi fosil yang berlebihan menyebabkan berkurangnya sumber daya energi, memicu pemanasan global, efek rumah kaca dan polusi udara sehingga energi terbarukan menjadi solusi untuk mengatasi masalah tersebut. Dengan memanfaatkan energi air dengan head yang sangat rendah pada sungai atau saluran irigasi, dalam hal ini turbin reaksi vortex ultra-low head menarik untuk dikembangkan dan diteliti lebih lanjut untuk mengetahui performanya. Penelitian dengan menggunakan CFD (Computational Fluid Dynamics) di usulkan untuk mengoptimalkan desain basin turbin dengan memvariasikan jumlah grid dan metode pemecahan solusi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa performa turbin reaksi vortex ultra-low head dapat ditingkatkan dengan menggunakan variasi jumlah grid sebesar 513810 dengan model viscous k- ϵ Standard dan metode pemecahan coupled. Terbukti bahwa metode tersebut menghasilkan peningkatan nilai debit tertinggi dengan nilai 8,38 L/s dan efisiensi turbin reaksi vortex ultra-low head dengan nilai 18,54%. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa model simulasi yang didapatkan ini dapat digunakan untuk melakukan perhitungan-perhitungan numerik selanjutnya.

Kata Kunci: Grid, Turbin, Vortex.

ABSTRACT

Excessive use of fossil energy causes a reduction in energy resources and triggers global warming, the greenhouse effect, and air pollution, so renewable energy is a solution to overcome these problems. By utilizing water energy with a shallow head in rivers or irrigation canals, the ultra-low head vortex reaction turbine is interesting to develop and research further to determine its performance. Research using CFD (Computational Fluid Dynamics) is proposed to optimize the turbine basin design by varying the number of grids and solution-solving methods. The research results show that the performance of the ultra-low head vortex reaction turbine can be improved by using variations in the number of grids of 513810 with the Standard k- ϵ viscous model and the coupled splitting method. It was proven that this method resulted in the highest increase in discharge value with a value of 8.38 L/s and ultra-low head vortex reaction turbine efficiency with a value of 18.54%. Therefore it can be concluded that the model.

Keywords: Grid, Turbine, Vortex.

1. PENDAHULUAN

Listrik menjadi sumber energy yang dibutuhkan untuk menunjang aktivitas manusia, salah satunya adalah pembangkit listrik tenaga air (PLTA) (B. R. Rode, 2024). PLTA adalah pembangkit listrik yang mengubah energi air menjadi energi listrik (W. Huang dkk, 2024). Penggunaan bahan bakar fosil menjadi sumber energi terbesar yang digunakan manusia, akibatnya ketersediaan di alam semakin menipis, mengakibatkan pemanasan global, efek rumah kaca, dan polusi (M. Safi'i, dkk, 2024). Indonesia merupakan negara iklim tropis, ketersediaan air yang melimpah menjadikan peluang untuk pengembangan energi terbarukan terutama energi air untuk ketenagalistrikan seperti sungai dan irigasi dengan arus tidak deras dan *head* rendah sehingga turbin reaksi *vortex ultra-low head* menjadi solusi untuk mengatasi hal tersebut (Y. F. Kusuma dkk, 2024).

Untuk mendapatkan energi bersih dengan memanfaatkan debit dan *head* rendah turbin reaksi *vortex ultra-low head* menjadi perhatian utama untuk diteliti lebih lanjut baik secara eksperimen maupun numerik (R. K. Chaulagain dkk, 2024). Penelitian turbin air *vortex* dengan CFD (*Computational Fluid Dynamics*) digunakan untuk menganalisis karakteristik aliran fluida di sekitar objek atau struktur tertentu (G. Shi dkk, 2024). Selain itu CFD dapat digunakan untuk memodelkan aliran fluida disekitar turbin *vortex*, memprediksi distribusi kecepatan, tekanan dan energi kinetik dari aliran tersebut serta memahami dampak perubahan desain terhadap kinerja turbin dan melakukan eksperimen virtual untuk menguji scenario berbeda tanpa membangun prototipe fisik yang sebenarnya (L. Wang dkk, 2024).

Studi numerik CFD pada turbin *vortex ultra-low head* dengan variasi kemiringan sudu sebesar 25° dan 30° dan besaran Rpm 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000 diusulkan. Model *viscous* SST k- ω dan SST k- ϵ digunakan dalam studi numerik ini, hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai efisiensi dapat ditingkatkan pada Rpm 4000 dengan model *viscous* SST k- ϵ dengan nilai efisiensi sebesar 37,3%. (J. Wang dkk, 2024). Studi

numerik *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dilakukan untuk menganalisis parameter rata-rata kecepatan aliran fluida dan intensitas *vortex*. Model *viscous Unsteady Reynolds-averaged Navier-Stokes* (URANS) dan *steady Reynolds-averaged Navier-Stokes* (SRANS) diusulkan dengan memvariasikan metode pemecahan masalah perhitungan yakni *coupled* dan *simple*. Hasilnya penggunaan model *viscous Unsteady Reynolds-averaged Navier-Stokes* (URANS) dengan metode pemecahan masalah perhitungan *coupled* mempunyai peningkatan nilai rata-rata kecepatan aliran fluida dan intensitas *vortex* sebesar 20%, model tersebut dikonfirmasi dan dipastikan dapat dijadikan rekomendasi untuk aplikasi praktis (T. Wang dkk, 2024).

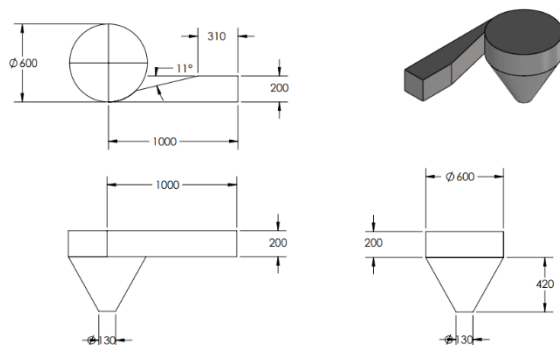
Studi optimisasi numerik dengan CFD dilakukan untuk mencari nilai efisiensi maksimal dari turbin *vortex ultra-low head* dengan basin kerucut dan jumlah sudu konstan 6 pcs dengan debit sebesar 4 L/s dan 8 L/s. Jumlah *grid* sebesar 127160, 223341, 319454, dan 403832 digunakan untuk studi uji *grid*. Dalam studi ini ditemukan bahwa kesalahan relatif maksimal dari variasi jumlah *grid* yang diusulkan masing-masing sebesar 4%, 4,5%, 3%, dan 2,55%. Pada jumlah *grid* sebesar 403832 memiliki nilai efisiensi maksimal sebesar 60,77%, hasil tersebut mengkonfirmasi bahwa jumlah *grid* saat studi numerik dengan *grid* 403832 memberikan hasil terbaik dalam studi ini (L. Velasquez dkk, 2024). Studi numerik turbin *vortex ultra-low head* pada *endwall cooling* diteliti dengan memvariasikan model *viscous* RANS dan SST k- ϵ pada kecepatan aliran sebesar 3 m/s, 6 m/s, dan 9 m/s. Pemecahan masalah perhitungan persamaan differensial pada studi numerik dilakukan dan dipertimbangkan dengan model *piso*, *simple*, dan *couple*. Hasil studi numerik menunjukkan bahwa model *viscous* SST k- ϵ mempunyai nilai efisiensi terbaik dengan nilai efisiensi 22.9 % saat model *piso*, 57.9 % saat model *simple*, dan 63 % saat model *coupled* (Y. Cheng dkk, 2024).

Sudah banyak penelitian baik eksperimen maupun numerik pada turbin *vortex* dengan berbagai variasi seperti laju aliran fluida, debit, sudu *blade* turbin, jumlah

blade turbin, tipe basin turbin, untuk mencari efisiensi dan performa turbin, namun belum ada penelitian tentang variasi jumlah *grid* dan metode pemecahan solusi pada turbin reaksi *vortex ultra low-head* performa menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) guna untuk mengetahui karakteristik aliran dan menentukan metode numerik yang paling optimal. Variasi jumlah *grid* 227187, 323366, 439499, 513810 dan model solusi *simple*, *simplec*, *piso*, dan *coupled* di usulkan dalam penelitian ini dengan menggunakan CFD dan memilih *k- ω Standard* sebagai model turbulensi. Hasil penelitian ini di harapkan mendapatkan jumlah *grid* optimum dan metode pemecahan solusi paling optimal dari turbin *vortex ultra low-head* untuk dapat direkomendasikan dan diterapkan pada perancangan turbin dan dapat diterapkan pada aplikasi praktis di lapangan.

2. METODE

2.1 Model Fisik



Gambar 1. Tampak Atas, Samping, Depan, dan 3D Geometri Turbin Reaksi Vortex Ultra-Low Head.

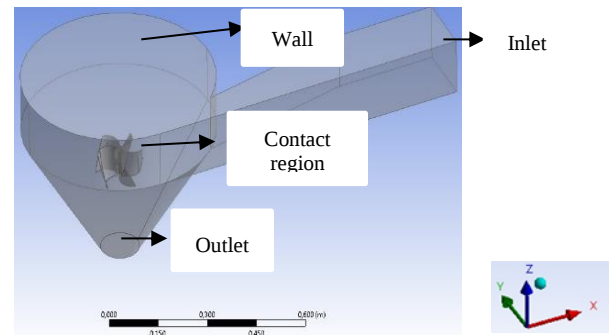
Gambar 1 merupakan tampak atas, samping, depan, dan 3D geometri turbin reaksi *vortex ultra-low head* yang digambar menggunakan *software Solidworks* dengan mempertimbangkan geometri literatur (M. Suarda dkk, 2023). Dalam penelitian ini desain turbin reaksi *vortex ultra-low head* terdiri dari geometri basin dan *blade*. Variasi turbin reaksi *vortex ultra-low head* yang kami usulkan adalah variasi geometri saluran basin *inlet* 200 mm dan 130 mm dengan jumlah *blade* 3 buah.

2.2 Material

Paduan baja ST.60 digunakan untuk modul Turbin. Konduktivitas termal diasumsikan $k = 17$ (W/m².K). Sifat air berperan sebagai fluida kerja dengan temperatur 25°C pada studi numerik ini mempunyai propertis material densitas $\rho = 998$ kg/m³, panas spesifik $C_p = 4,182$ J/kg.K, viskositas $\mu = 1,915 \times 10^{-5}$ kg/ms, dan konduktivitas termal $k = 0,6$ W/m.K. Parameter tersebut di *input* berdasarkan *Ansys database* menu *set up* pada aplikasi *Fluent* di program *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Domain Komputasi



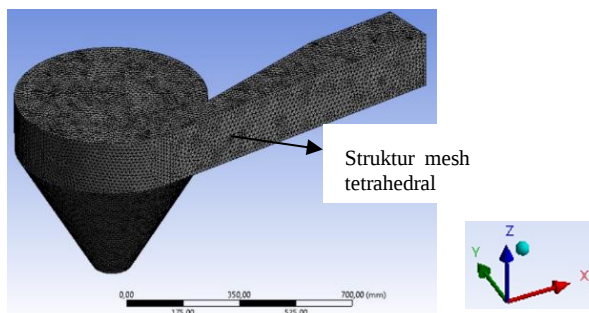
Gambar 2. Domain Komputasi dan Penentuan Kondisi Batas pada Turbin Reaksi Vortex Ultra-Low Head.

Domain komputasi dilakukan dengan teknik berbasis volume kontrol yang digunakan untuk mendiskritkan persamaan yang mengatur skema *second order upwind* untuk akurasi yang lebih tinggi yang dibuat dengan menggunakan menu *design modeller* pada aplikasi CFD. Domain komputasi turbin reaksi *vortex ultra-low head* ditetapkan dengan seperti yang dijelaskan pada Gambar 2. Penentuan dinding pada kondisi batas berupa analisis numerik aliran fase tunggal melalui turbin reaksi *vortex ultra-low head* dengan keadaan *steady*.

Domain komputasi dalam pekerjaan sekarang ini menggunakan sistem koordinat kartesius, dimana sumbu-X adalah sumbu searah aliran (*streamwise*), sumbu-Y adalah sumbu transversal aliran (*spanwise*), dan sumbu-Z adalah sumbu normal bidang XY.

Bagian domain komputasi yang dibuat terdiri atas 4 bagian, yaitu *inlet*, dimaksudkan untuk memperoleh aliran berkembang penuh, daerah *outlet* dimaksudkan untuk jalur keluarnya fluida, daerah *wall* basin yang merupakan pembagian bidang yang seimbang pada geometri turbin reaksi *vortex ultra-low head* disemua sisinya, daerah *contact region* merupakan daerah terjadinya tegangan kontak antara fluida air dan *blade*. Domain komputasi ditentukan dengan kanal berbentuk persegi dengan ukuran 200 mm x 200 mm dengan panjang 1000 mm, panjang takik saluran 480 mm dan sudut takik 11°, serta lebar saluran keluar kanal 57 mm. Basin berbentuk kerucut dengan diameter atas dan bawah basin adalah 600 mm dan 130 mm, tinggi basin 600 mm, sudut kerucut 23°. *Runner* turbin *vortex* diatur pada posisi 12/60 dari bagian atas basin.

3.2 Meshing



Gambar 3. Detail Mesh pada Domain Komputasi.

Domain komputasi didiskritisasi dengan *grid tetrahedral* dengan terstruktur penuh dan resolusi tinggi di daerah dekat dinding untuk menangkap efek lapisan batas hidrolis. Pembuatan jaring *mesh* dilakukan pada menu *Mesh* pada aplikasi CFD. Pada analisa numerik perhitungan persamaan pembangun dengan kondisi batas telah ditentukan berdasarkan ukuran dan jenis *mesh*, hal itu sangat berpengaruh terhadap tingkat akurasi dan kualitas hasil simulasi yang didapat. *Body sizing* dipilih untuk menentukan bagian per domain untuk di seleksi dan diberi ukuran. Ukuran basin turbin ditentukan sebesar 8 mm dan *blade* adalah 0,8 mm untuk *mesh* 227187, 6 mm dan adalah 0,6 untuk *mesh* 323366, 4 mm dan adalah 0,4 untuk *mesh*

439499, 2 mm dan adalah 0,2 untuk *mesh* 513810.

Jenis *mesh* yang digunakan adalah *tetrahedral* karena *mesh* jenis ini dapat mengoptimalkan jumlah *grid* yang berdampak pada reduksi *computational cost* (M. Safi'i dkk, 2024). Detail *mesh* yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3. Sebuah teknik berbasis volume kontrol digunakan untuk mendiskritkan persamaan yang mengatur skema *second order upwind* untuk akurasi yang lebih tinggi dengan perhitungan numerik yang relatif cepat (M. Safi'i dkk, 2024). Bilangan Reynolds rata-rata dan persamaan kontinuitas Navier-stokes diselesaikan menggunakan model *viscous k- ω Standard* yang mampu menyelesaikan persamaan numerik dengan cepat, tepat, dan akurat dan bergantung pada asumsi dalam model *viscous* yang dipilih. Persamaan yang mengatur dalam domain komputasi 3D untuk turbin reaksi *vortex ultra-low head* adalah persamaan yang ditulis dalam kordinat Cartesian, Kontinuitas rata-rata Reynolds dan persamaan Navier-Stokes dapat ditulis dalam notasi tensor sebagai:

Persamaan kontinuitas:

$$\frac{\partial(\alpha_k \rho_k)}{\partial t} + \nabla \alpha_k \rho_k v_k = \Gamma_h \quad (1)$$

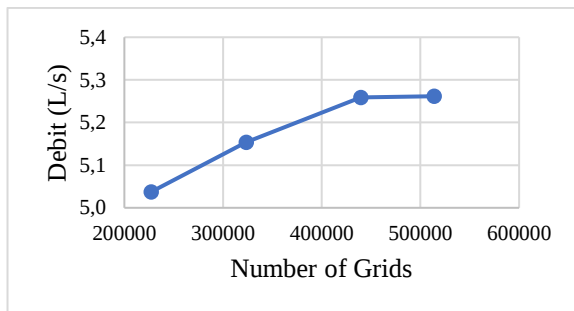
Persamaan momentum:

$$\frac{\partial}{\partial t} + (\alpha_k \rho_k v_k) + \nabla \cdot (\alpha_k \rho_k v_k v_k) = (\alpha_k \nabla \rho_k \nabla \cdot [\alpha_k (\tau_k + \tau_{Tk} + \tau_{Dk})) + \alpha_k \rho_k f_k + M_k \quad (2)$$

3.3 Uji Grid Independent

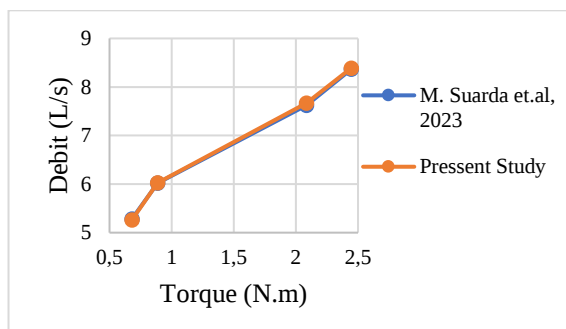
Uji grid independent dilakukan untuk menentukan titik optimum dari nilai percobaan berupa debit turbin reaksi *vortex ultra-low head*. Uji *grid* dilakukan dengan mempertimbangkan ukuran jumlah *cell mesh* pada domain komputasi antara, 227187, 323366, 439499, dan 513810. Langkah demi langkah prosedur *set up* simulasi dilakukan berdasarkan referensi skema eksperimen (M.

Suarda dkk, 2023). Hasil uji *grid* disajikan dalam grafik hubungan antara nomor *grid* dan nilai debit yang dijelaskan pada Gambar 4. Perhitungan pada studi numerik dalam uji *grid* menunjukkan kesalahan relatif antara *grid* 227187 dengan 323366 adalah $\pm 0,9\%$, 323366 dengan 439499 adalah $\pm 0,4\%$, 439499 dengan 513810 $\pm 0,2\%$. Jumlah *grid* 513810 merupakan jumlah *grid* yang paling optimum karena berdasarkan uji simulasi dengan variasi penambahan jumlah *grid* terlihat nilai debit sebesar 5,25 L/s dan 5,26 L/s dianggap tidak berubah terhadap jumlah *grid*, sehingga jumlah *grid* 513810 digunakan dalam mengambil data simulasi pada turbin reaksi *vortex ultra-low head* terhadap variasi yang sudah ditentukan.



Gambar 4. Jumlah *Grid* terhadap Debit.

3.4 Validasi



Gambar 5. Nilai Torsi terhadap Debit.

Untuk memastikan bahwa metode dan hasil simulasi CFD benar, maka diperlukan proses validasi. Validasi dilakukan melalui pendekatan numerik terhadap eksperimen (M. Suarda dkk, 2023) turbin reaksi *vortex ultra-low head*, parameter yang ingin dicari dalam penelitian ini adalah efisiensi turbin guna untuk menentukan performa turbin reaksi

vortex ultra-low head yang baru diusulkan. Validasi dilakukan dengan variasi nilai torsi terhadap nilai efisiensi. Hasil validasi disajikan dalam Gambar 5. Hubungan torsi terhadap debit. Hanya hasil yang terbaik yang kami sajikan dalam laporan ini.

Untuk berbagai macam debit memiliki kesalahan relatif terbesar dengan nilai 0,5% dengan nilai debit antara eksperimen (M. Suarda dkk, 2023) dan numerik 8,51 pada eksperimen dan 8,45 saat numerik, sedangkan yang terendah adalah 0,3% dengan nilai 5,28 saat eksperimen (M. Suarda dkk, 2023) dan eksperimen 5,39 saat studi numerik. Hasil tersebut menunjukkan adanya kesepakatan yang baik antara hasil eksperimen terhadap studi numerik yang sedang divalidasi.

3.5 Reduksi Data Numerik

Dalam penelitian ini ada beberapa data yang perlu ditentukan dan dihitung guna untuk mencari performa turbin

1. Debit Aliran (Q)

$$Q = A.V \quad (3)$$

Atau dapat ditentukan menggunakan persamaan empiris yang menghubungkan diameter, percepatan gravitasi dan tinggi air di atas basin:

$$D = \left(\frac{Q}{C \cdot \sqrt{2gH}} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

2. Energi Potensial

Energi potensial per satuan waktu atau daya potensial (P_p). Untuk menghitung energi potensial yang tersedia dalam sebuah basin kerucut *vortex*, perlu mempertimbangkan energi potensial gravitasi dari air yang mengalir melalui sistem (M. Suarda dkk, 2023). Energi potensial gravitasi dapat dihitung dengan rumus:

$$P_p = \rho.Q.g.h \quad (5)$$

3. Daya Teoritis Turbin

Untuk menghitung daya teoritis yang dapat dihasilkan oleh basin kerucut *vortex* (M. Suarda dkk, 2023) yang dapat dihitung dengan rumus:

$$P = \eta \cdot \rho \cdot Q \cdot g \cdot h \quad (6)$$

4. Volume Basin Kerucut

$$V = \frac{1}{3} \pi r^2 h \quad (7)$$

5. Daya Motor

$$P_t = Q \cdot g \cdot H \quad (8)$$

6. Luas Penampang

Luas penampang saluran masuk/*inlet* basin Untuk menghitung luas penampang saluran masuk basin kerucut dengan model trapesium dapat menggunakan rumus luas trapesium:

$$A = \frac{1}{2} \cdot (a + b) \cdot h \quad (9)$$

7. Force Turbin

$$P = C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (10)$$

8. Efisiensi

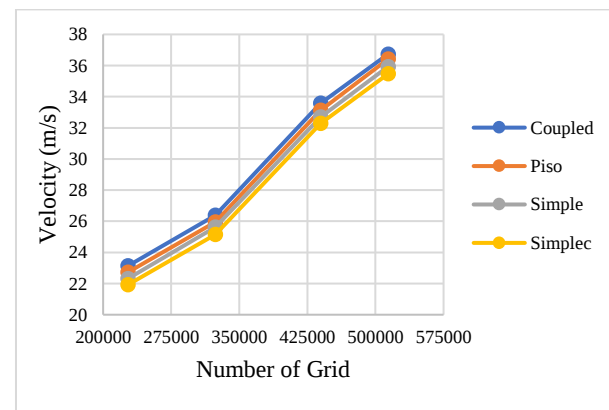
$$\eta = \frac{P}{P_t} \times 100\% \quad (11)$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Aliran Fluida

Turbin aliran aksial adalah turbin yang fluida kerjanya mengalir sejajar dengan poros (M. F. R. Hakim, 2018). Mekanisme kerja turbin *vortex ultra-low head* dimulai dari fluida air masuk melalui saluran *inlet*, kemudian masuk melewati area *volute*. Dalam *volute*, dimana *blade* bekerja berputar karena adanya daya putar, akibatnya air membentuk pusaran, lalu fluida di lepaskan menuju saluran

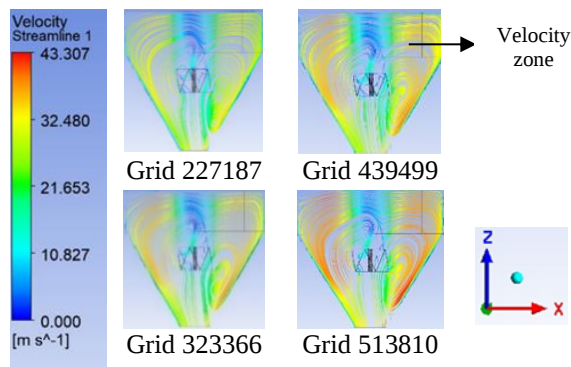
outlet untuk kemudian dari sistem tersebut dihasilkan sebuah energi (D. L. Zariatn, 2023). Karakteristik aliran yang terjadi pada turbin ini mengakibatkan adanya separasi aliran dan beda tekanan yang menyebabkan gaya *drag* pada sekitar *blade*. Akibatnya, aliran yang terjadi tidak stabil dan terjadi turbulensi. Selain itu terjadinya gelombang pusaran air atau *vortex* akibat momentum *linear* berupa gaya hidrostatik terhadap sudu ulir mengakibatkan gaya sentrifugal bekerja lebih tinggi, hal tersebut dapat memberikan keuntungan terhadap nilai energi yang bekerja pada turbin.



Gambar 6. Nilai Grid terhadap Velocity.

Selain itu kedalaman basin, kemiringan poros, dan jumlah sudu juga berperan penting terhadap karakteristik aliran fluida. Berdasarkan pengamatan saat studi numerik, fluida yang masuk mulai dari penampang *inlet* mulanya adalah laminar dan cenderung stabil, kemudian ketika fluida mendekati basin dan *blade* karakteristik aliran fluida bertransisi menuju ke aliran turbulen, dimana dalam fenomena tersebut aliran cenderung ngacak dan tidak beraturan akibat adanya efek gangguan lapisan batas. Kecepatan absolut yang bekerja pada turbin merupakan kecepatan aliran relatif terhadap lingkungan stasioner. Kecepatan absolut memberikan informasi tentang energi kinetik yang mengakibatkan turbin mendapatkan nilai daya yang memadai. Pada studi numerik pengambilan data kecepatan aliran dan *streamline* distribusi aliran pada turbin dilakukan saat turbin bekerja pada kondisi *steady*. Kecepatan absolut yang bekerja pada turbin memungkinkan turbin

memiliki gaya tangensial, gaya tersebut bekerja akibat adanya daya putar pada turbin, sehingga besaran nilai *force* dapat diketahui. Harapannya nilai *force* dapat digunakan untuk mengetahui parameter performa dan kinerja turbin.

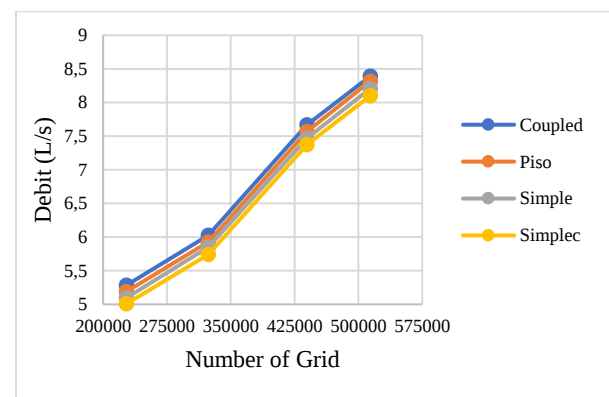


Gambar 7. Kontur Distribusi Velocity pada Turbin dengan Variasi Grid 227187, 323366, 439499, 513810 dengan Metoda Pemecahan Coupled.

Gambar 6 menunjukkan hubungan antara nilai *grid* terhadap *velocity* pada studi numerik yang sedang dipelajari. Dengan ditambahnya jumlah *grid* memungkinkan nilai *velocity* pada turbin mengalami kenaikan yang signifikan sebesar 20%. Nilai *velocity* terendah ditemukan pada *grid* 227187 dengan metode pemecahan *simplec* dengan nilai 21,920 m/s, sedangkan nilai *velocity* tertinggi ditemukan pada *grid* 513810 dengan nilai *velocity* 36,730 m/s. Dengan meningkatnya nilai *velocity* akibatnya nilai debit, daya turbin, dan efisiensi dapat ditingkatkan. Gambar 7 menunjukkan distribusi kecepatan dan karakteristik aliran yang terjadi pada turbin *vortex ultra-low head*.

Gambar tersebut menjelaskan bahwa kecepatan aliran pada saluran basin turbin cenderung tidak merata, dengan kecepatan maksimum rata-rata aliran terjadi pada kisaran 32,480 m/s hingga 43,307 m/s. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kecepatan aliran pada turbin ini seperti kemiringan basin, kekasaran basin, ukuran dan bentuk basin. Perubahan kecepatan aliran fluida pada turbin, umumnya disebabkan oleh gesekan antara partikel fluida, gesekan fluida antar partikel dengan dinding basin, dan tumbukan partikel fluida dengan dinding *blade*. Karakteristik dari kontur *velocity streamline* seperti yang

dijelaskan pada Gambar 6 tersebut mulanya aliran centerung teratur ketika memasuki yang terjadi disekitar *blade* karakteristik aliran fluida cenderung membentuk pusaran-pusaran sebelum keluar menuju asluran *outlet* basin. Selain itu karakteristik tersebut juga dipengaruhi oleh besaran nilai viskositas, tekanan, kepadatan, dan geometri sistem. Ada kemungkinan akibat adanya geometri balde yang kompleks mengakibatkan terjadinya adveksi aliran disekitar *blade*, sehingga sparasi aliran dapat berkembang penuh didalamnya. Dengan ini maka kinerja turbin reaksi *vortex ultra-low head* divalidasi dan dipatakan solusi paling optimal dalam studi numerik. Diharapkan hasil ini dapat memberikan sumbangsih untuk perancangan turbin maupun dapat direkomendasikan untuk dilakukan studi numerik lebih lanjut dan diaplikasikan secara praktis dilapangan.

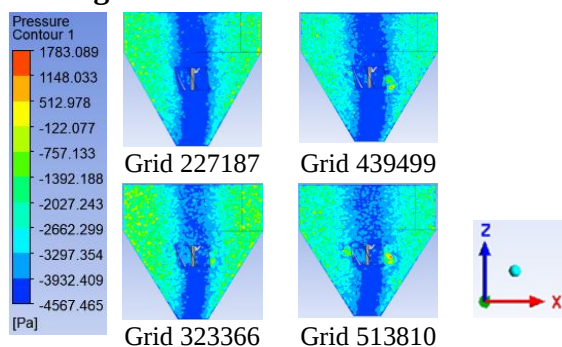


Gambar 8. Nilai Grid terhadap Debit.

Gambar 8 menunjukkan hubungan antara jumlah *grid* terhadap debit turbin. Selain peningkatan variasi jumlah *grid* pada studi numerik, ukuran basin turbin konstan dengan kanal berbentuk persegi dengan ukuran 200 mm x 200 mm dengan panjang 1000 mm, panjang takik saluran 480 mm dan sudut takik 11°, serta lebar saluran keluar kanal 57 mm. Basin berbentuk kerucut.dengan diameter atas dan bawah basin adalah 600 mm dan 130 mm, tinggi basin 600 mm, sudut kerucut 23°. *Runner* turbin *vortex* diatur pada posisi 12/60 dari bagian atas basin dapat meningkatkan debit turbin. Nilai debit tertinggi didapat pada *grid* 513810 dan metode pemecahan solusi *coupled* dengan nilai debit 8,38 L/s, sedangkan

yang terendah adalah pada *grid* 227187 dengan nilai debit 5,06 L/s. Ada kemungkinan jika diameter rotor dan panjang *blade* turbin lebih besar dapat menangkap lebih banyak fluida air dan menghasilkan lebih banyak debit air, akibatnya daya listrik yang dihasilkan akan semakin besar. Panjang *blade* turbin diharapkan dapat dapat menangkap lebih banyak air, sehingga air yang masuk ke dalam penampang turbin dapat meningkatkan kepadatan fluida air dan meningkatkan debit keluaran turbin. Dari studi numerik ini diharapkan akan ada kelanjutan mengenai penelitian lebih lanjut terhadap variasi dimensi basin turbin, diameter rotor, dan panjang *blade* turbin guna untuk meningkatkan daya dan efisiensi pada turbin.

4.2 Pengaruh Jumlah Grid

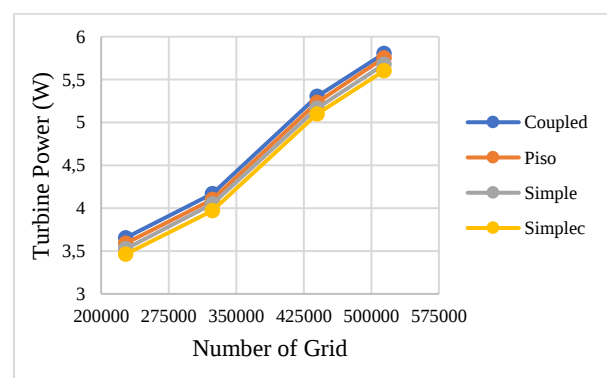


Gambar 9. Kontur Distribusi Pressure pada Turbin dengan Variasi Grid 227187, 323366, 439499, 513810 dengan Metoda Pemecahan Coupled.

Optimisasi turbin *vortex ultra-low head* dengan pendekatan numerik terhadap variasi jumlah *grid* dilakukan untuk mencari jumlah *grid* paling optimum. Variasi jumlah *grid* mempunyai hubungan yang kuat terhadap hasil perhitungan numerik pada simulasi. Pembentukan *grid* atau penggenerasian *mesh* pada studi numerik di maksudkan untuk dapat menangkap efek lapisan batas berupa parameter penting yang ingin dicari untuk menghitung berapa nilai unjuk kerja turbin. Variasi jumlah *grid* 227187, 323366, 439499, dan 513810 di usulkan, pengambilan data dan plot kontur pada studi numerik diambil ketika turbin *vortex ultra-low head* bekerja dalam keadaan tunak, sehingga distribusi kontur merata. Variasi jumlah *grid* juga memiliki gaya cukup kuat terhadap parameter nilai seperti *velocity*,

debit, dan *pressure*. Pengaruh tersebut meningkat seiring ditingkatkannya jumlah *grid* saat penggenerasian *mesh*. Inisialisasi lapisan batas hidrolis yang sangat tipis diantara *blade* turbin menjadikan nilai tersebut mudah dibaca, walaupun dalam kondisi operasi dan mekanisme yang sama.

Performa turbin dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti tekanan vakum, susunan *blade* turbin, kondisi fluida air masuk dan keluar turbin. Selain besaran *velocity* yang bekerja pada turbin, diketahui pada studi numerik ini variasi jumlah *grid* memiliki peran penting terhadap kenaikan tekanan pada turbin. Tekanan fluida air yang bekerja pada turbin terlihat menumpuk di sekitar dinding basin, lalu besaran tekanan perlahan menurun ketika fluida air mendekati bagian *blade*, hal itu disebabkan adanya pencampuran sparasi aliran yang menyebabkan timbulnya adveksi aliran disekitar *blade*. Gambar 9 adalah gambar distribusi tekanan pada turbin. Plot kontur distribusi tekanan diambil saat turbin bekerja dalam keadaan *steady*. Besaran tekanan saat dilakukan studi numerik berkisar antara -1392,18 hingga -122,07 Pa. Diketahui pada studi numerik yang sedang dipelajari, metode algoritma perhitungan *coupled* memiliki nilai tekanan tertinggi daripada metode algoritma *piso*, *simple*, dan *simplec*. Harapannya tekanan tersebut dapat memberikan sumbangsih untuk dapat ditingkatkannya daya turbin.



Gambar 10. Nilai Grid terhadap Daya.

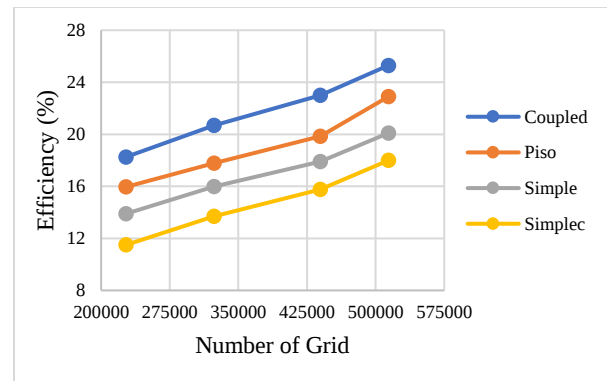
Peningkatan variasi jumlah *grid* di semua algoritma pemecahan perhitungan saat studi numerik memberikan informasi terhadap kenaikan nilai daya turbin. Dalam studi

numerik yang sedang dipelajari tinggi debit air yang menumbuk *blade* turbin, maka semakin besar daya yang dihasilkan oleh turbin, selain itu jenis *blade* aksial dan jumlah *blade* 3 bilah juga memainkan peran penting terhadap kenaikan daya turbin. Gambar 10 menunjukkan hubungan antara jumlah *grid* terhadap daya turbin. Nilai daya turbin tertinggi pada studi numerik ini ditemukan pada *grid* 513810 dengan nilai daya sebesar 5,80 W untuk *methods coupled*, 5,75 W untuk *methods piso*, 5,67 W untuk *methods simple*, 5,60 W untuk *methods simplec*, sedangkan yang terendah ditemukan pada jumlah *grid* 227187 dengan nilai daya sebesar 3,65 W untuk *methods*.

4.3 Pengaruh Metode Pemecahan Solusi

Ansys fluent menyediakan 4 macam metode algoritma pemecahan perhitungan numerik. algoritma pemecahan perhitungan numerik tersebut adalah *coupled*, *piso*, *simple*, dan *simplec*. *Coupled* memungkinkan kopling tekanan-kecepatan penuh, oleh karena itu disebut sebagai algoritma *coupled* berbasis tekanan, Perhitungan kondisi stabil umumnya akan menggunakan *simple* atau *simplec*, sementara *piso* direkomendasikan untuk perhitungan transien. *piso* juga dapat berguna untuk perhitungan kondisi stabil dan transien pada *mesh* yang sangat miring (Ansys, 2013). Dalam penelitian numerik pada turbin ini metode algoritma pemecahan perhitungan numerik *coupled*, *piso*, *simple*, dan *simplec* diusulkan untuk mencari metode paling optimal untuk dapat direkomendasikan dan diterapkan dalam aplikasi praktis pada turbin.

Studi numerik pengaruh jumlah *grid* dan model pemecahan solusi dilakukan untuk mengkarakterisasi efisiensi pada turbin. Pada dasarnya efisiensi turbin adalah kemampuan turbin mengubah energi putar menjadi energi listrik. Secara eksperimen dan teoritis efisiensi turbin dipengaruhi oleh susunan *blade* turbin, kondisi fluida masuk dan keluar turbin, besarnya debit air yang mengalir, massa jenis air, pengaruh percepatan gravitasi bumi, dan ketinggian jatuh air (*head*). Akan tetapi dalam hal ini jumlah *grid* dan model pemecahan solusi menjadi bahasan utama.



Gambar 11. Nilai *Grid* terhadap Efisiensi.

Metode pemecahan solusi *coupled* dengan jumlah *grid* 513810 memiliki nilai debit tertinggi dalam studi numerik ini dengan nilai 8,4 L/s, hal tersebut mengakibatkan efisiensi naik dengan nilai 25,4%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan peningkatan jumlah *grid* dan penggunaan metode pemecahan solusi *coupled* dapat meningkatkan nilai efisiensi turbin, sehingga metode tersebut memungkinkan dapat diterapkan secara praktis dalam studi numerik dan dapat dijadikan acuan dalam studi numerik terkait dengan masalah turbin. Gambar 11 menunjukkan nilai *grid* terhadap efisiensi pada turbin. Nilai efisiensi terendah umumnya ditemukan pada studi numerik dengan jumlah *grid* sebesar 227187 dengan nilai efisiensi antara 11,49% hingga 18,54%. Metode pemecahan solusi *simplec* dan *simple* pada studi numerik yang sedang dipelajari pada variasi jumlah *grid* 227187, 323366, 439499, dan 513810 memiliki nilai efisiensi terendah.

5. KESIMPULAN

Hasil investigasi model numerik turbin reaksi *vortex ultra-low head* dengan memvariasikan jumlah *grid* dan metode pemecahan solusi menunjukkan bahwa performa turbin reaksi *vortex ultra-low head* dapat ditingkatkan dengan menggunakan variasi jumlah *grid* sebesar 513810 dengan model *viscous k-ε Standard* dan metode pemecahan *coupled*. Terbukti bahwa metode tersebut menghasilkan peningkatan nilai debit tertinggi dengan nilai 8,38 L/s dan efisiensi turbin reaksi *vortex ultra-low head* tertinggi 18,54%. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa model simulasi

yang didapatkan ini dapat digunakan untuk melakukan perhitungan-perhitungan numerik selanjutnya.

Ucapan Terima Kasih

Basiswa Pendidikan Indonesia (BPI).

Laboratorium Perancangan Universitas Sains Al Qur'an Jawa Tengah di Wonosobo, Jl. KH. Hasyim Asy'ari Km. 03 Kalibeber, Kec. Mojotengah, Kab. Wonosobo 56351.

Laboratorium Efisiensi dan Konservasi Energi, Universitas Diponegoro, Semarang. Jl. Prof. Sudarto No.13, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah (50275), Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

ANSYS Inc, 2013. "ANSYS Fluent PrePost User's Guide: Release 15.0". Canonsburg, PA: SAS IP, Inc.

B. R. Rode, A. Kumar, 2024. "Effects of Vortex Rope Formation in Draft Tube of Reversible Pump-Turbine – A review". Journal of Energy Storage. Vol. 99, No. 1. PP. 1-16.
<https://doi.org/10.1016/j.est.2024.113250>

G. Shi, Z. Hao, X. Peng, H. Wen, W Lu, j. Fu, 2024. "Analysis of Vortex Characteristics in the S-Shaped Region of a Reversible Pump-Turbine with Different Guide Vane Openings Based on Omega Vortex Identification Method". Journal of Energy Storage. Vol. 84, No. 2. PP. 1-14.
<https://doi.org/10.1016/j.est.2024.110921>

J. Wang, E. Y. Kwee, J. Li, Y. Cao, Y. Huang, L. Li, 2024. "Study on Rotational Effects of Modern Turbine Blade on Coolant Injecting Nozzle Position with Film Cooling and Vortex Composite Performance". Frontiers in Heat and Mass Transfer. Vol. 21, No. 1, PP. 1-31.
<https://doi.org/10.32604/fhmt.2023.045510>

L. Wang, J. Feng, X. Luo, G. Zhu, J. Lu, Y. G. Liu, 2024. "Numerical Investigation of Energy Dissipation and Vortex Characteristics on the S-shaped Region of a Reversible Pump-Turbine". Journal of Energy Storage. Vol. 99, No. 2. PP. 1-12.
<https://doi.org/10.1016/j.est.2024.113447>

L. Velásquez, F. R. Menco, A. R. Clemente, A. Posada, E. Chica, 2024. "Numerical Optimization and Experimental Validation of the Runner of a Gravitational Water Vortex Hydraulic Turbine with a Spiral Inlet Channel and a Conical Basin". Renewable Energy. Vol. 220, No. 1, PP. 1-13.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119676>

M. F. R. Hakim, P. H. Adiwibowo, (2018). "Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Berpenampang Lurus dengan Variasi Tinggi Sudu" JTM. Vol. 6 No. 1. PP. 85-95.
<https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jtm-unesa/article/view/24551>

M. Safi'i, N. Sinaga, Syaiful, (2022). "Kaji Numerik Kinerja Oblique Heat Sink Dengan Memvariasikan Sudut Oblique Serta Jarak Longitudinal Dan Transversal Sirip". Departemen Teknik Mesin, Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

M. Safi'i, R. Muhamad, M. J. Saputra, M. I. Fahmi, A. Ramdhani, S. M. Rozaki, H. Ramadan, 2024. "Edukasi Pemanfaatan dan Pemberdayaan Limbah Rumah Tangga dalam Pembuatan Panel Surya Untuk Mendukung Industri UMKM di Kelurahan Bergaslur, Semarang". Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat Nusantara (JPkMN). Vol. 5, No. 3, PP. 3512-3520.
<https://ejournal.sisfokomtek.org/index.php/jpkm/article/view/3516>

M. Suarda, m. Sucipta, N. P. R. A. Wahyuni, N. K. R Dewi, 2023 "Kajian Parameter Optimal Desain Turbin Vortex Pada Head Sangat Rendah". Seminar Nasional Sains dan Teknologi (SENASTEK). Vol 8, No. 1, PP. 186-191.

- <https://ojs.unud.ac.id/index.php/senastek/article/view/108174/52656>.
- R. K. Chaulagain, L. Poudel, S. Maharjan, 2024. “*Design and experimental analysis of a new vertical ultra-low-head hydro turbine with the variation of outlet flow level on the head drop section of an open canal*”. Results in Engineering. Vol. 22, No. 2, PP. 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102240>.
- T. Wang, C. Cai, J. Liu, C. Peng, Y. Wang, X. Sun, X. Zhong, J. Zhang, Q. Li, 2024. “*Wake Characteristics and Vortex Structure Evolution of floating Offshore Wind Turbine Under Surge Motion*”. Energy. Vol. 302, No. 1, PP. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.131788>.
- W. Huang, R. Tang, H. Ma, 2024. “*The Review of Vortex Lattice Method for Offshore Wind Turbines*”. Renewable Energy. Vol. 236, No. 1, PP. 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.121450>.
- Y. F. Kusuma, A. P. Fuadi, B. Al Hakim, C. Sasmito, A. C. P. T. Nugroho, M. H. Khoirudin, D. H. Priatno, A. Tjolleng, I. B. Wiranto, I. R. Al Fikri, T. Muttaqie, A. R. Prabowo. “*Avigating Challenges on the Path to Net Zero Emissions: A Comprehensive Review of Wind Turbine Technology for Implementation in Indonesia*”. Results in Engineering. Vol. 22, No. 2, PP. 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102008>.
- Y. Cheng, Y. Li, Y. Rao, 2024. “*Enhanced Turbine Endwall Cooling Using Crescent-Dimpled Film Cooling Holes and a Hybrid Configuration: Numerical Study*”. Vol. 109, No. 2, PP. 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2024.109546>.