

ANALISIS VARIASI BASIN TURBIN REAKSI VORTEX ULTRA LOW-HEAD SUDU AKSIAL MENGGUNAKAN METODE CFD

Muhamad Shohibun Amin^{1*}, Kun Suharno², Herru Santosa Budiono³, Muhamad Safi'i⁴

^{1,2,3} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar Magelang

Jl. Kapten Suparman No.39, Potrobangsang, Kec. Magelang Utara, Kota Magelang, Jawa Tengah 56116.

⁴ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Sains Al Qur'an Jawa Tengah di Wonosobo

Jl. KH. Hasyim Asy'ari Km. 03 Kalibebber, Kec. Mojotengah, Kab. Wonosobo 56351.

Email: shohibunamin@gmail.com

Abstrak

Penggunaan energi fosil secara berlebihan menyebabkan berkurangnya sumber daya energi, memicu pemanasan global, efek rumah kaca, dan polusi udara. Oleh karena itu, energi terbarukan menjadi solusi yang penting untuk mengatasi masalah tersebut. Salah satu pendekatan yang menarik untuk dikembangkan adalah pemanfaatan energi air dengan head yang sangat rendah, seperti di sungai atau saluran irigasi, menggunakan turbin reaksi vortex ultra-low head. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa turbin reaksi vortex ultra-low head melalui optimasi desain basin dengan menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD). Penelitian dilakukan dengan memvariasikan dimensi inlet dan outlet basin. Variasi yang digunakan adalah ukuran inlet 180 mm, 200 mm, dan 220 mm serta outlet 120 mm, 130 mm, dan 140 mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa turbin reaksi vortex ultra-low head dengan konfigurasi basin 220-120 mm memberikan performa terbaik pada debit 8,312 L/s, gaya (force) sebesar 74,149 N, turbulensi 6,673 m/s², dan kecepatan aliran 35,100 m/s. Geometri turbin reaksi vortex ultra-low head dengan basin 220-120 mm menjadi desain yang paling ideal dalam penelitian ini. Desain tersebut dapat dijadikan acuan dalam perancangan turbin reaksi vortex ultra-low head dan memungkinkan untuk diterapkan secara langsung di lapangan secara praktis.

Kata kunci: Basin, CFD, Force, Ultra-low Head, Vortex.

PENDAHULUAN

Listrik menjadi salah satu sumber energi yang menjadi kebutuhan penting untuk menunjang aktivitas manusia, salah satunya adalah pembangkit listrik tenaga air. Pembangkit listrik tenaga air adalah pembangkit listrik yang mengubah energi air menjadi energi listrik (Asa, 2020). Penggunaan bahan bakar fosil masih menjadi sumber energi terbesar yang digunakan manusia, yang menyebabkan ketersediaan bahan bakunya di alam semakin menipis, terutama bagi masyarakat di Indonesia. Hal ini berdampak pada peningkatan pemanasan global, efek rumah kaca, dan polusi, sehingga pemanfaatan energi arus air menjadi salah satu solusi yang paling banyak digunakan saat ini (M. R. F. Hakim, 2018; M. Safi'i dkk, 2024; Prasetyo, 2018). Indonesia, sebagai negara beriklim tropis dengan ketersediaan air yang melimpah, memiliki peluang besar untuk mengembangkan energi terbarukan, khususnya energi air untuk sektor

ketenagalistrikan dengan head rendah (A. S. Esfarizal, 2023).

Salah satu metode yang sedang dikembangkan untuk memanfaatkan energi air dengan head yang sangat rendah adalah turbin reaksi vortex ultra-low head. Turbin ini sangat cocok diaplikasikan di sungai-sungai dan aliran irigasi yang memiliki arus tidak terlalu deras serta ketinggian atau head yang rendah (C. Insani dkk, 2021). Dengan mengoptimalkan turbin untuk ketinggian air rendah, diharapkan dapat meningkatkan potensi pemanfaatan sumber daya air secara berkelanjutan dan ramah lingkungan, sehingga mendukung upaya mencapai energi terbarukan yang dapat digunakan untuk masa depan (Harmiansyah dkk, 2023; F. A. Ayiz dkk, 2021).

Berbagai penelitian, baik eksperimen maupun numerik, telah dilakukan untuk meningkatkan efisiensi turbin vortex. Salah satu metode yang digunakan adalah Computational Fluid Dynamics (CFD), yang memungkinkan

analisis aliran fluida dan perilaku turbulensi di sekitar struktur tertentu (I. G. Muttaqin, 2022). CFD digunakan untuk memodelkan aliran fluida di sekitar turbin vortex, memprediksi distribusi kecepatan, tekanan, dan energi kinetik aliran, serta menganalisis dampak perubahan desain terhadap kinerja turbin. Pendekatan ini memungkinkan eksperimen virtual untuk menguji berbagai skenario tanpa perlu membangun prototipe fisik (M. A. Aghniya, 2024).

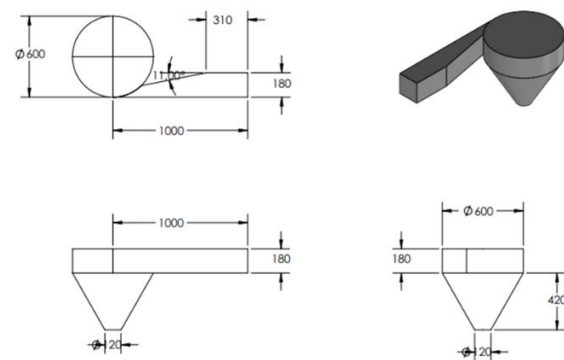
Dalam mendesain basin untuk turbin reaksi vortex ultra-low head menggunakan CFD, beberapa parameter harus diperhatikan untuk memastikan efisiensi dan kinerja optimal, seperti ketinggian air (head), bentuk dan ukuran basin, desain inlet dan outlet, material konstruksi, kontrol debris, dan kecepatan aliran air (D. L. Zariatin, 2023). Pada penelitian ini, variasi pada diameter inlet dan outlet basin menjadi perhatian utama (T. Rachmanto, 2018). Rasio diameter outlet yang optimal untuk desain basin reaksi vortex ultra-low head umumnya berkisar antara 0,1 hingga 0,3 dari diameter basin. Penelitian ini menggunakan rasio diameter 0,2, dengan harapan menghasilkan pusaran yang stabil dan efisien (N. P. W. L. Swastika, 2024).

Berbagai studi menunjukkan hasil yang signifikan. Penelitian variasi jumlah sudu terhadap torsi pada turbin vortex menunjukkan efisiensi terbaik pada sudu lima dengan nilai 20,74%, diikuti sudu empat sebesar 11,91%, dan sudu tiga sebesar 0,9% (Mariawan dkk, 2022). Penelitian perbandingan basin berbentuk silinder dan kerucut menunjukkan bahwa basin kerucut lebih efisien, dengan kecepatan maksimum 0,6 m/s dibandingkan basin silinder yang hanya mencapai 0,525 m/s pada kondisi yang sama (Dhakal dkk, 2015). Efisiensi tertinggi turbin vortex berbasis gravitasi pada basin kerucut mencapai 81%, dibandingkan basin silinder sebesar 62% (H. K. Ikhsan dkk, 2020).

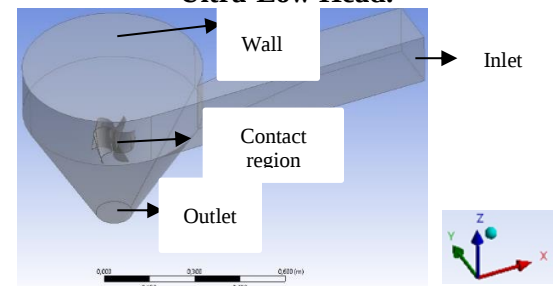
Dalam penelitian ini, variasi diameter inlet basin 180 mm, 200 mm, dan 220 mm terhadap diameter outlet 120 mm, 130 mm, dan 140 mm diusulkan menggunakan Ansys Fluent pada aplikasi CFD dengan model turbulensi *k- ω Standard*. Studi ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik aliran, turbulensi, dan menentukan gaya pada turbin, sehingga dapat merancang desain paling optimal dari turbin vortex ultra-low head untuk direkomendasikan dalam aplikasi praktis di lapangan.

METODE PENELITIAN

Gambar 1 menunjukkan geometri turbin reaksi vortex *ultra-low head*. Gambar merupakan tampak atas, samping, depan, dan 3D geometri turbin *ultra-flow vortex* dijabarkan secara rinci beserta ukurannya. Geometri 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* 180 mm, 200 mm dan 220 mm terhadap *outlet* 120 mm, 130 mm dan 140 mm.



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



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

Domain komputasi dalam studi ini menggunakan teknik berbasis volume kontrol untuk mendiskritkan persamaan yang mengatur, dengan penerapan skema first-order upwind untuk meningkatkan akurasi. Domain komputasi dirancang menggunakan aplikasi Design Modeller pada Ansys Fluent, dengan mempertimbangkan material yang digunakan dalam studi numerik, yaitu material fluida dan

material solid. Konfigurasi domain komputasi untuk turbin reaksi vortex ultra-low head dijelaskan sesuai dengan yang terlihat pada Gambar 2.

Penentuan kondisi batas dilakukan dengan menganalisis aliran fase tunggal melalui turbin reaksi vortex ultra-low head dalam keadaan steady. Domain komputasi dirancang menggunakan sistem koordinat kartesius, di mana sumbu-X merepresentasikan aliran utama (streamwise), sumbu-Y sebagai sumbu transversal aliran (spanwise), dan sumbu-Z sebagai sumbu normal terhadap bidang XY.

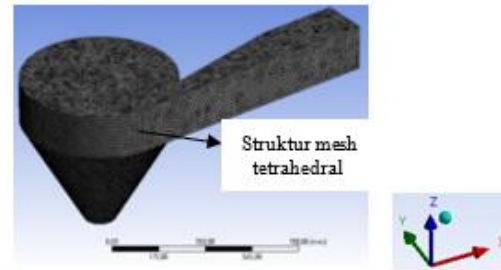
Komponen utama dalam domain komputasi terdiri atas beberapa bagian penting. Daerah sisi inlet dirancang untuk memungkinkan aliran berkembang penuh sebelum memasuki sistem. Daerah sisi outlet berfungsi sebagai tempat keluarnya aliran fluida. Daerah wall basin mencakup pembagian bidang yang seimbang pada geometri turbin reaksi vortex ultra-low head di semua sisi. Terakhir, daerah contact region merupakan area di mana terjadi tegangan kontak antara fluida air dan bilah (blade) turbin.

Pengaturan ini dirancang untuk memastikan simulasi aliran fluida yang optimal dan memungkinkan analisis yang akurat terhadap performa turbin.

Pada analisa numerik perhitungan persamaan pembangun dengan kondisi batas yang telah ditentukan. *Meshing* dilakukan pada aplikasi *Mesh* di *Ansys fluent*. Ukuran dan jenis *mesh* sangat berpengaruh terhadap tingkat akurasi dan kualitas hasil simulasi yang didapat. 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). Definisi ukuran *mesh* yang dipilih adalah *body sizing*, metode tersebut dipilih karena kemudahan dalam menyeleksi geometri saat dilakukan pengukuran.

Ukuran *mesh* ditentukan sebesar 1 mm untuk *blade* turbin dan 2 mm untuk basin turbin. Detail *mesh* yang digunakan pada penelitian ditunjukkan pada Gambar 3. Sebuah teknik berbasis volume kontrol digunakan untuk mendiskritkan persamaan yang mengatur skema *first order upwind* untuk akurasi yang lebih tinggi dengan perhitungan numerik yang relatif cepat. Domain komputasi didiskritisasi dengan *grid tetrahedral* dengan terstruktur penuh dan resolusi tinggi di daerah dekat dinding untuk

menangkap efek lapisan batas hidrolis (M. Safi'i dkk, 2024).



Gambar 3. Detail Mesh pada Domain Komputasi.

Mesh dianggap sudah baik apabila nilai *Orthogonal quality* >0,1, *Max skewness* <0,95, dan *Wall y+<1* (M. Safi'i dkk, 2022).

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 koordinat Cartesian, Kontinuitas rata-rata Reynolds dan persamaan Navier-Stokes dapat ditulis dalam notasi tensor sebagai:

Persamaan kontinuitas:

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

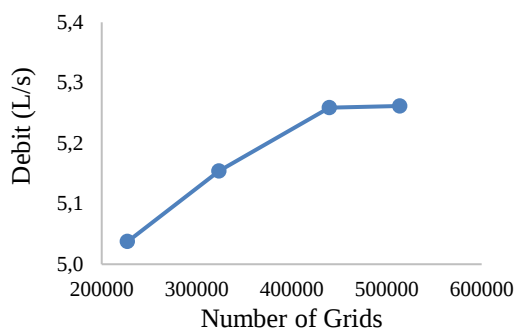
Persamaan momentum:

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

Grid independensi dilakukan untuk menentukan titik optimum dari nilai percobaan berupa debit turbin, memastikan bahwa hasil simulasi tidak terpengaruh oleh ukuran atau jumlah elemen mesh yang digunakan pada domain komputasi. Uji grid dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi pada beberapa jumlah elemen mesh, yaitu 227,187; 323,366; 439,499; dan 513,810 elemen. Pengujian ini bertujuan untuk mengidentifikasi ukuran mesh yang memberikan keseimbangan antara akurasi hasil simulasi dan efisiensi komputasi.

Prosedur simulasi dilakukan secara bertahap dan disusun berdasarkan referensi dari skema eksperimen yang relevan. Setiap konfigurasi mesh diuji untuk memastikan bahwa perubahan jumlah elemen tidak menghasilkan perbedaan signifikan pada parameter utama seperti debit turbin, tekanan, kecepatan, dan turbulensi aliran. Selain itu, proses ini membantu meminimalkan biaya komputasi dengan menghindari penggunaan mesh yang terlalu halus tanpa manfaat signifikan terhadap akurasi hasil.

Langkah-langkah pengaturan simulasi dimulai dari pembuatan domain komputasi, penentuan kondisi batas, penerapan model turbulensi, hingga proses iterasi. Data hasil simulasi untuk setiap jumlah mesh kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi mesh optimal yang memberikan hasil akurat dengan efisiensi waktu komputasi yang tinggi. Dengan cara ini, penelitian ini memastikan bahwa hasil simulasi dapat diandalkan untuk menganalisis *performa turbin vortex ultra-low head*.

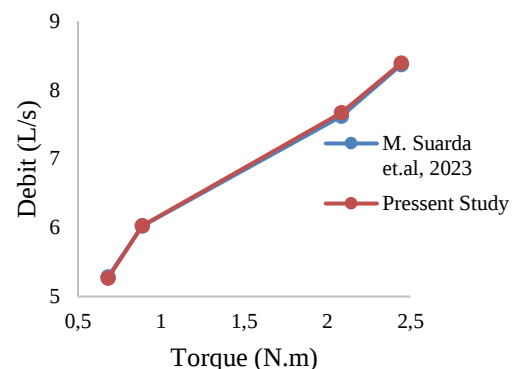


Gambar 4. Nilai Jumlah Grid terhadap Debit pada Turbin Reaksi Vortex Ultra-Low Head

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.

Untuk memastikan bahwa metode dan hasil simulasi CFD benar, maka diperlukan proses validasi. Ada 2 proses validasi yaitu konvergensi dan uji *grid*. Konvergensi adalah pengaturan persamaan *solver control* untuk meminimalisir *error* hasil simulasi. Proses perhitungan atau proses iterasi pada tahap *flow solver* dilakukan jika semua kondisi batas telah ditentukan. Banyaknya proses iterasi berpengaruh terhadap tingkat akurasi yang diperoleh. Penentuan banyaknya iterasi dipengaruhi oleh tingkat ketelitian model yang dibuat. Semakin banyak jumlah *grid* yang dipakai dalam pemodelan semakin banyak iterasi yang perlu dilakukan untuk perhitungan model tersebut. Proses iterasi berhenti jika telah mencapai batas konvergensi yang ditentukan. Pada proses ini perhitungan dilakukan hingga menuju nilai *error* terkecil atau nilai yang konvergen (M. Safi'i, et. al, 2022).



Gambar 5. Nilai Debit terhadap Efisiensi.

Validasi dilakukan melalui pendekatan numerik terhadap eksperimen yang dilakukan berdasarkan hasil eksperimen pada turbin reaksi *vortex ultra-low head*, parameter yang ingin dicari dalam penelitian ini adalah *velocity*, *pressure*, dan *force* guna untuk menentukan nilai efisiensi dari turbin reaksi *vortex ultra-low head* yang baru diusulkan. Validasi dilakukan dengan variasi torsi terhadap nilai debit. Hasil validasi disajikan dalam Gambar 5. Hubungan torsi terhadap debit. Hanya hasil yang terbaik yang kami sajikan dalam laporan ini. Pada grafik tersebut dapat dilihat hasil eksperimen dan

numerik pada turbin reaksi *vortex ultra-low head* diperoleh nilai debit terbesar adalah 8,81 pada eksperimen dan 8,85 saat simulasi. Sedangkan nilai debit terendah adalah 5,38 saat eksperimen 5,39 saat studi numerik. Untuk berbagai macam debit memiliki kesalahan relatif terbesar dengan nilai 0,5% dengan nilai debit antara eksperimen (M. Suarda dkk, 2023) dan numerik 8,81 pada eksperimen dan 8,85 saat numerik, sedangkan yang terendah adalah 0,3% dengan nilai 5,38 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.

Dalam penelitian ini ada beberapa data yang perlu ditentukan dan dihitung guna untuk mencari nilai *force* turbin. Debit Aliran (Q) dapat ditentukan menggunakan persamaan

$$Q = A \cdot v \quad 3$$

, percepatan gravitasi dan tinggi air di atas basin Menggunakan persamaan

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

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

$$P_p = \rho \cdot Q \cdot g \cdot h \quad 5$$

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

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

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

3. Luas Penampang

Luas penampang saluran masuk/*inlet* basin Untuk menghitung luas penampang saluran

masuk basin kerucut dengan model trapesium dapat menggunakan rumus luas trapesium:

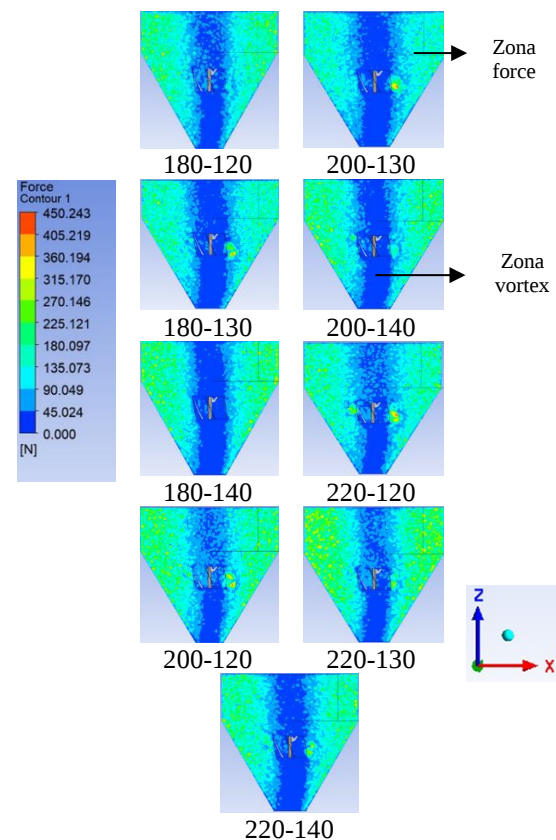
$$A = \frac{1}{2} \cdot (a + b) \cdot h \quad 8$$

4. Force Turbin

$$P = C_p \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad 9$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Turbin aliran aksial adalah turbin yang fluida kerjanya mengalir sejajar dengan poros (M. F. R. Hakim, 2018).



Gambar 6. Kontur Distribusi Nilai Force pada Turbin dengan Geometri Basin Variasi Inlet 180 mm, 200 mm dan 220 mm terhadap Outlet 120 mm, 130 mm dan 140 mm.

Pada dasarnya mekanisme kerja turbin berawal dari fluida air masuk melalui saluran penampang *inlet*, kemudian masuk melewati *blade* dimana *blade* bekerja berputar karena

adanya daya putar sehingga membuat air membentuk sebuah pusaran, lalu fluida di lepaskan menuju saluran penampang *outlet* untuk kemudian dari sistem tersebut dihasilkan energi (D. L. Zariatn, 2023). Pengaruh *force* terhadap variasi geometri basin dengan ukuran *inlet* 180 mm, 200 mm dan 220 mm terhadap *outlet* 120 mm, 130 mm dan 140 mm dipelajari dengan menggunakan metoda numerik pada variasi geometri *blade* yang di asumsikan dengan ukuran konstan. Variasi tersebut dipilih dan diharapkan mampu memberikan dampak positif terhadap kinerja turbin, terutama aspek *force*

Kondisi aliran *steady* dengan model turbulensi $k-\omega$ Standard dipilih saat *set up* simulasi dengan pertimbangan studi yang dilakukan pada bilangan Reynolds yang tinggi, dan berdasarkan studi literatur yang menyatakan bahwa model turbulensi $k-\omega$ Standard cocok digunakan untuk kasus ini. Pengaruh variasi geometri basin dengan ukuran *inlet* 180 mm, 200 mm dan 220 mm terhadap *outlet* 120 mm, 130 mm dan 140 mm memainkan peran penting terhadap *force* turbin, terbukti bahwa nilai *force* menurun seiring dengan ditingkatkannya besaran basin pada sisi *outlet*, namun anehnya nilai *force* bertambah ketika variasi penampang *outlet* kecil. Hal ini diakibatkan adanya peningkatan pencampuran bangun antara geometri dan sudut *blade* terhadap saluran *outlet*. Selain itu penambahan variasi besaran penampang *inlet outlet* memungkinkan terjadinya faktor friksi yang besar, sehingga kinerja turbin menjadi kurang maksimal, akibatnya nilai *force* menjadi kecil. Gambar 6 menunjukkan kontur distribusi nilai *force* pada turbin dengan geometri basin *inlet* 180 mm dan *outlet* 120 mm.

Pada *force zone* energi potensial fluida menjadikan energi mekanik bekerja pada *blade*, akibatnya gaya jatuh fluida mendorong *blade* sehingga turbin berputar. Putaran turbin mengakibatkan karakteristik fluida membentuk pusaran atau *vortex* disekitar *blade* seperti yang ditunjukkan pada *vortex zone*, hal itu dapat diketahui adanya nilai *force*. Mulanya, nilai *force* pada turbin ini berkisar antara 55,770 N – 72,649 N pada debit 5,792 L/s – 5,829 L/s, namun dengan bertambahnya debit fluida turbin saat bekerja menjadikan nilai *force* perlahan naik, akibatnya *blade* bekerja dengan putaran yang lebih tinggi sehingga memungkinkan nilai debit perlahan naik. Dengan naiknya nilai debit

tersebut diketahui dapat meningkatkan nilai efisiensi turbin hingga 1,5%. Dengan meningkatnya nilai debit maka dikonfirmasi bahwa turbin bekerja dengan baik.

Tabel 1. Hubungan Nilai Debit (L/s) dan Force (N) diberbagai Variasi Basin Turbin.

Variasi Basin	Debit (L/s)	Force (N)
BASIN 180-120	5,829	55,770
BASIN 180-130	5,798	55,474
BASIN 180-140	5,792	55,411
BASIN 200-120	6,996	64,706
BASIN 200-130	6,975	64,516
BASIN 200-140	6,866	63,502
BASIN 220-120	8,312	74,149
BASIN 220-130	8,297	74,022
BASIN 220-140	8,144	72,649

Distribusi nilai *force* diambil ketika turbin bekerja pada keadaan *steady*, sehingga pengambilan data nilai *force* menjadi *fair*, umumnya distribusi nilai *force* menumpuk di sekitar *blade*. Gaya sentrifugal pada *blade* memainkan peran penting dalam pembentukan karakteristik aliran fluida yang menyebabkan timbulnya pusaran-pusaran disekitar *blade*.

Pusaran tersebut disinyalir dapat meningkatkan nilai *force*, selain itu dimensi *outlet* basin yang kecil yakni 120 mm pada penampang inlet 180, 200, dan 220 mm diketahui dapat meningkatkan nilai *force*, sehingga kinerja turbin dapat ditingkatkan dengan baik, adanya pusaran disekitar *blade* memungkinkan fluida dapat terdistribusi dengan tekanan dan kecepatan tinggi menuju saluran *outlet* yang akibatnya menjadikan efisiensi turbin dapat ditingkatkan lebih besar. Nilai *force* terbesar berkisar antara 72,649 N - 74,149 N pada debit 8,114 L/s – 8,312 L/s yang kebanyakan berada di sekitar *blade*. Lalu nilai menurun sekitar 3% ketika aliran fluida menuju saluran *outlet*. Tabel 1 menjelaskan hubungan antara nilai Debit (L/s) dan *Force* (N) diberbagai variasi basin turbin. Pada studi numerik yang sedang dilakukan terlihat bahwa kinerja turbin terbaik diperoleh dengan geometri basin 220-120 mm dengan 74,149 N dengan debit sebesar 8,312 L/s. Desain tersebut memungkinkan dapat dijadikan rekomendasi untuk perancangan dan dapat di aplikasikan dilapangan secara praktis.

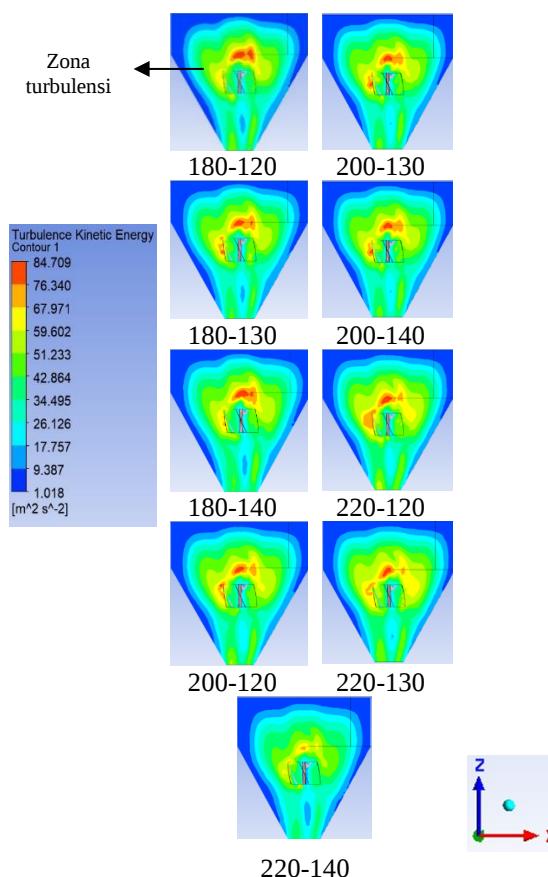
Turbulensi pada turbin adalah gangguan pada kecepatan, arah, atau komponen vertikal *blade* yang terjadi secara cepat. Turbulensi dapat memengaruhi kinerja turbin, seperti menurunkan daya keluaran dan membebani komponen turbin secara ekstrem (Gibran, 2014). Turbulensi menjadikan fenomena aliran fluida yang kompleks dan tidak teratur. Turbulensi terjadi ketika fluida mengalir dengan kecepatan yang berbeda-beda atau mengalir di sekitar objek yang mengganggu aliran (M. A. Aghniya, 2024). Dalam penelitian ini turbulensi yang lebih tinggi diketahui dapat meningkatkan koefisien daya turbin, selain itu kenaikan daya pada turbin juga dipengaruhi oleh debit yang bekerja pada turbin. Tabel 2 menjelaskan hubungan Nilai Debit (L/s), Turbulence (m/s²), dan daya turbin (W) diberbagai Variasi Basin Turbin. Nilai turbulensi diberbagai variasi basin pada turbin berkisar antara 4,987 m/s² - 6,673 m/s².

Tabel 2. Hubungan Nilai Debit (L/s), Turbulence (m/s²), dan Turbine Power (W) diberbagai Variasi Basin Turbin.

Variasi Basin	Debit (L/s)	Turbulence (m/s ²)	Turbine Power (W)
BASIN 180-120	5,829	5,019	4,03
BASIN 180-130	5,798	4,993	4,01
BASIN 180-140	5,792	4,987	4,01
BASIN 200-120	6,996	5,824	4,84
BASIN 200-130	6,975	5,806	4,82
BASIN 200-140	6,866	5,715	4,75
BASIN 220-120	8,312	6,673	5,75
BASIN 220-130	8,297	6,662	5,74
BASIN 220-140	8,144	6,538	5,63

Pada geometri turbin dengan basin 180-140 mm diketahui mempunyai nilai terendah untuk debit 5,792 L/s, turbulensi 4,987 m/s², dan daya turbin sebesar 4,01 W, sedangkan yang tertinggi adalah geometri turbin dengan basin 220-120 mmdengan nilai debit 8,312 L/s, turbulensi 6,673 m/s², dan daya turbin sebesar 5,75 W. Gambar 7 menunjukkan Kontur Distribusi Nilai *Turbulence* pada Turbin dengan Geometri Basin Variasi *Inlet* 180 mm, 200 mm dan 220 mm, diketahui pada studi numerik yang sedang dilakukan dan dipelajari karakteristik *turbulence* terjadi disekitar *blade* turbin. Nilai *turbulence* tertinggi dijelaskan dengan *legend* warna merah, sedangkan yang kecil adalah warna biru muda. *Turbulence* pada turbin terjadi akibat adanya gaya sentrifugal pada *blade*, akibatnya fluida cenderung mempunyai karakteristik yang tidak teratur, hal itu menunjukkan bahwa aliran fluida yang terjadi

pada turbin ini adalah turbulen, pemilihan model *viscous k- ω Standard* saat studi numerik membuktikan bahwa model tersebut cocok dan memadai untuk menyelesaikan studi numerik ini.



Gambar 7 Kontur Distribusi Nilai *Turbulence* pada Turbin dengan Geometri Basin Variasi *Inlet* 180 mm, 200 mm dan 220 mm terhadap *Outlet* 120 mm, 130 mm dan 140 mm.

Pada studi numerik yang sedang dipelajari menunjukkan bahwa sistem kontrol turbin cenderung mengganti strategi kontrol, yang dapat menyebabkan fluktuasi kuat pada aliran fluida, akibatnya efisiensi turbin dan rotor lebih rendah selama periode konvektif. Turbulensi yang hampir isotropik dihasilkan dengan menggunakan dua kisi kuadrat statis dengan resolusi *meshing* yang halus. Selain itu, jarak antara turbin dan kisi disesuaikan. Oleh karena itu, saat turbulensi menurun dalam arah aliran, turbin terpapar turbulensi dengan berbagai konten skala energi dan panjang. Perkembangan skala turbulensi dalam arah aliran pada berbagai debit dan ukuran

penampang dikarakterisasi. Pengukuran nilai turbulensi pada turbin saat studi numerik diambil ketika turbin bekerja pada keadaan *steady*. Dalam studi numerik kali ini menunjukkan semakin tinggi tingkat turbulensi, semakin tinggi koefisien daya. Hal ini disebabkan oleh interaksi skala turbulensi dengan lapisan batas permukaan *blade*, yang pada gilirannya menunda *stall*. Pada Tabel 2 dijelaskan dengan adanya pengaruh turbulensi mengakibatkan kenaikan signifikan terhadap daya turbin, kenaikan berkisar 3%. Dengan demikian, lapisan batas ditekan dan mencegahnya terpisah dan karenanya meningkatkan karakteristik aerodinamika *blade*. Selain itu, turbulensi yang lebih tinggi membantu meredam pusaran *blade* dan dapat mengurangi kerugian aliran.

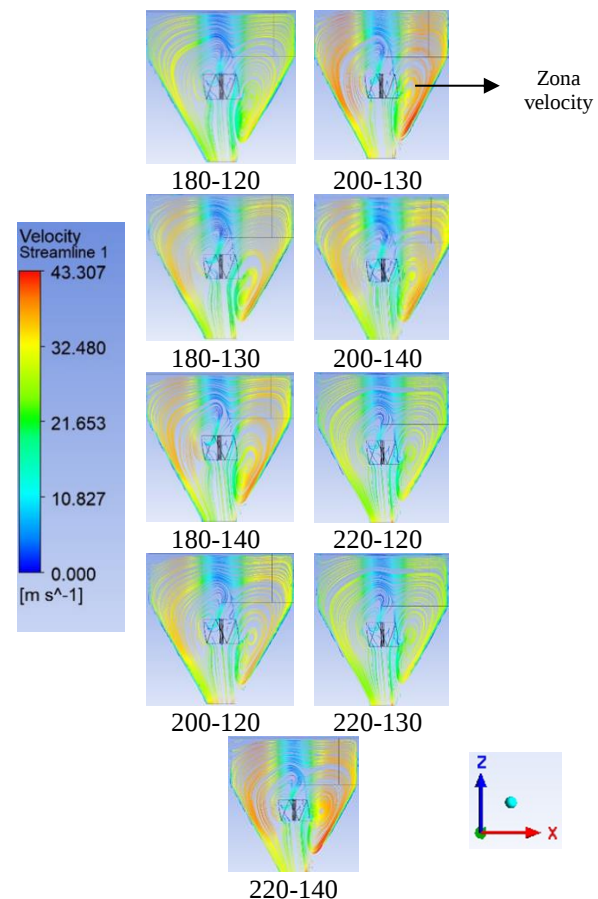
Kecepatan aliran pada turbin berkaitan dengan beberapa hal seperti kecepatan fluida, kecepatan absolut, kecepatan putaran, dan kecepatan spesifik. Semakin tinggi kecepatan fluida, kecepatan absolut, kecepatan putaran, dan kecepatan spesifik, maka semakin tinggi juga putaran, daya, dan TSR turbin (Gibran, 2014). Pada studi numerik ini Geometri Basin Variasi *Inlet* 180 mm, 200 mm dan 220 mm terhadap *Outlet* 120 mm, 130 mm dan 140 mm diusulkan untuk mengetahui besaran nilai *velocity* pada turbin. Diketahui besaran penampang *inlet* dan *outlet* pada turbin memainkan peranan penting terhadap nilai *velocity*, umumnya dengan besaran variasi geometri basin yang lebih besar didapatkan nilai *velocity* yang besar, akibatnya nilai debit, *force* dan *turbulence* juga besar.

Tabel 3. Hubungan Nilai Debit (L/s), *Velocity* (m/s), dan *Turbulence* (m/s²) diberbagai Variasi Basin Turbin.

Variasi Basin	Debit (L/s)	Kecepatan aliran (m/s)	Turbulence (m/s ²)
BASIN 180-120	5,829	26,400	5,019
BASIN 180-130	5,798	26,260	4,993
BASIN 180-140	5,792	26,230	4,987
BASIN 200-120	6,996	30,630	5,824
BASIN 200-130	6,975	30,540	5,806
BASIN 200-140	6,866	30,060	5,715
BASIN 220-120	8,312	35,100	6,673
BASIN 220-130	8,297	35,040	6,662
BASIN 220-140	8,144	34,390	6,538

Tabel 3 menunjukkan hubungan nilai debit (l/s), *velocity* (m/s), dan *turbulence* (m/s²) diberbagai variasi basin turbin. Pada studi

numerik yang sedang dipelajari turbin dengan basin 180-140 mm mempunyai nilai terendah pada debit dengan nilai 5,792 L/s, kecepatan aliran 26,230 m/s, dan turbulensi 4,987 m/s², sedangkan yang terbesar terdapat pada geometri turbin dengan basin 220-120 mm dengan nilai debit 8,312 L/s, kecepatan aliran 35,100 m/s, dan turbulensi 6,673 m/s². Pada studi numerik yang sedang dipelajari, secara umum geometri turbin dengan basin 220-120 mm menjadi penemuan yang paling baik dan optimal ditinjau dari berbagai nilai seperti debit, *force*, turbulensi, dan kecepatan aliran. Tabel 3 menjelaskan hubungan Nilai Debit (L/s), *Velocity* (m/s), dan *Turbulence* (m/s²) diberbagai Variasi Basin Turbin.



Gambar 8. Kontur Distribusi Nilai *Velocity* pada Turbin dengan Geometri Basin Variasi *Inlet* 180 mm, 200 mm dan 220 mm terhadap *Outlet* 120 mm, 130 mm dan 140 mm.

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 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. Gambar 8 menunjukkan Kontur distribusi nilai *velocity* pada turbin dengan geometri basin variasi *inlet* 180 mm, 200 mm dan 220 mm terhadap *outlet* 120 mm, 130 mm dan 140 mm. Gambar tersebut menjelaskan bahwa kecepatan aliran pada saluran basin turbin cenderung tidak merata, dengan kecepatan maksimum aliran terjadi pada kisaran 0,05 hingga 0,25 kedalamannya. 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 8 mulanya aliran cenderung teratur ketika memasuki *inlet* basin, kemudian karakteristik aliran perlahan berubah ketika mulai memasuki basin dekat *blade*, lalu dengan adanya gaya sentrifugal dan tangensial yang terjadi akibat putaran *blade* mengakibatkan fluida bergerak memutar mengitari *blade* sebelum keluar menuju saluran *outlet* basin. Pada fenomena yang terjadi disekitar *blade* karakteristik aliran fluida cenderung membentuk pusaran-pusaran sebelum keluar menuju saluran *outlet* basin. Selain itu karakteristik tersebut juga dipengaruhi oleh besaran nilai viskositas, tekanan, kepadatan, dan geometri sistem. Dengan ini maka kinerja turbin reaksi *vortex ultra-low head* divalidasi dan dipetakan geometri paling optimal. Diharapkan hasil ini dapat memberikan sumbangsih untuk perancangan turbin maupun dapat direkomendasikan untuk diaplikasikan secara praktis dilapangan.

PENUTUP

Kesimpulan

Geometri turbin reaksi *vortex ultra-low head* dengan basin 220-120 mm dengan nilai tertinggi pada debit 8,312 L/s, *force* 74,149 N, turbulensi 6,673 m/s², dan kecepatan aliran 35,100 m/s, Geometri turbin reaksi *vortex ultra-*

low head dengan basin 180-140 mm dengan nilai terendah pada debit 5,792 L/s, *force* 55,411 N, turbulensi 4,987 m/s², dan kecepatan aliran 26,230 m/s. Geometri turbin reaksi *vortex ultra-low head* dengan basin 220-120 mm menjadi desain turbin yang paling ideal dalam penelitian ini, sehingga desain tersebut dapat dijadikan acuan dalam perancangan turbin reaksi *vortex ultra-low head* dan memungkinkan dapat diterapkan secara langsung dilapangan secara praktis.

DAFTAR PUSTAKA

- A. S. Esfarizal, R. Arizona, (2023). “*Studi Eksperimental Kinerja Turbin Vortex Terhadap Perubahan Sudut Kemiringan Saluran Masuk Dan Ketinggian Impeller*”. JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN. Vol. 2. No. 9. PP. 73-79.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. 1. No. 1. PP. 186-191.
- B. Acharya, R. K. Chaulagain, (2023). “*Computational and Experimental Analysis of Conical Draft Tube's Effect on Conical Basin of Gravitational Water Vortex Turbine*”. Journal of Advanced College of Engineering and Management. Vol. 8. No. 2. PP. 77–88.
- C. Insani, A. Maulana, O. W. Irawan, (2021). “*Rancang Bangun Turbin Reaksi pada Sungai Taman Kota 2 dengan Model Aliran Vortex*”. JURNAL TEKNIK MESIN – ITI. Vol. 5 No. 2. PP. 79-88.
- D. L. Zariatini, T. Susilo, (2023). “*Analisis Water Turbin Vortex Terhadap Output Putaran serta Daya yang Dihasilkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Pico HydroTeknobiz*”. Jurnal Ilmiah Program Studi Magister Teknik Mesin. Vol. 2. No. 1. PP. 85-93.
- F. A. Ayiz, D. S. Wijayanto, Y. Estriyanto, (2021). “*Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan dan Debit Air Terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Air Vortex*”. NOZEL. Vol. 3 No. 4. PP. 245–253.
- F. Zotloterer, (2002). “*Zotloterer Gravitational Vortex Plant*”. Journal Of Electrical, Electronics, Control, And Automotive

- Engineering (Jeecae). Vol. 5. No. 1. PP. 27-34.
- Gibran, S. Gultom, Z. Lubis, P. G. Sembiring (2014). "Rancang Bangun Turbin Vortex Dengan Casing Berpenampang Lingkaran Yang Menggunakan Sudu Diameter 46 cm Pada 3 Variasi Jarak Antara Sudu Dan Saluran Keluar". Jurnal Dinamis, Volume. 5. No. 2. PP. 36-46.
- Harmiansyah, D. Arysandia, F. A. J. Gamas, N. W. Saputri, M. Kusmali, R. Fil'aini. (2023). "Mini Review Pengaruh Jumlah Sudu Turbin Vortex Berdasarkan Daya Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yang Dihasilkan". Sultra Journal of Mechanical Engineering (SJME), Vol. 2 No. 2 PP. 82-91.
- H. K. Fitroh, P. H. Adiwibowo, (2018). "Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Melengkung dengan Variasi Sudut Kemiringan". JTM. Vol. 6 No.1. PP. 97-104.
- H. K. Ikhsan, R. Nugroho, D. G. Wijaya, D. S. Pamuji, (2020). "Kajian Teknologi: Parameter Desain dan Pemodelan Numerik pada Turbin Vortex Berbasis Gravitasi". Prosiding Nasional I. G. Muttaqin, M. Sucipta, M. Suarda, (2022). "Simulasi Computational Fluid Dynamic pada Model Turbin Vortex Variasi Kecepatan Rotasi Runnersi". BATIK JOURNAL. Vol. 1 No. 8. PP. 1445-1454.
- I. G. Muttaqin, M. Sucipta, M. Suarda. (2022). Simulasi Computational Fluid Dynamic pada Model Turbin Vortex Variasi Kecepatan Rotasi Runner". SIBATIK JOURNAL: Jurnal Ilmiah Bidang Sosial, Ekonomi, Budaya, Teknologi, Dan Pendidikan, Vol. 8. No. 1. PP. 1445-1454.
- I. P. Aspriliansyah, P. H. Adiwibowo, (2020). "Simulasi Numerik Pengaruh Kemiringan Sudut Sudu Berpenampang Plat Datar Terhadap Kinerja Turbin Aliran Vortex". JTM. Vol. 8. No. 2. PP. 31- 40.
- M. A. Aghniya, M. Suarda, I G. K. Sukadana, (2024). "Kajian Simulasi Computational Fluid Dynamics Pola Aliran Air Pada Turbin Vortex dengan Variasi Tinggi Basin" Jurnal Ilmiah TEKNIK DESAIN MEKANIKA. Vol. 13. No. 2. PP. 121-126.
- 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.
- 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 Energi Surya untuk Mendukung Industri UMKM di Kelurahan Bergaslor, Semarang". Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat, Vol. 3 No. 1, PP. 6-12.
- M. Safi'i, N. Sinaga, T. Priangkoso, Susanto, A. Digdoyo, (2024). "Investigasi Model Numerik Pada Simulasi Heat Sink Sirip Lurus Dengan Memvariasikan Jumlah Grid, Model Viscous Dan Metode Pemecahan Dengan Pendinginan Konveksi Bebas". Jurnal Momentum. Vol. 20, No.1, PP31-41.
- M. Safi'i, A. Nugroho, R. Muhammad, S. Suheri, Susanto5, M. I. F. P. Arya, O. Heriyani, Y. Effendi8, (2024). "Kaji Eksperimen Dan Simulasi Pengaruh Sudut Double Segmental Baffle Dan Laju Aliran Fluida Pada Heat Exchanger Jenis Shell And Tube Pada Mesin Main Extruder Terhadap Kebaikan Perpindahan Panas". JURNAL DEVICE, Vol. 14, No. 1, PP. 92-99.
- N. P. W. Laksmi Swastika, G. Nugroho, (2024). "Analisis Numerik Pengaruh Desain Kanal Inlet Terhadap Performansi Aliran Vortex pada Gravitational Water Vortex Power Plant (GWVPP)". JURNAL TEKNIK ITS. Vol. 13. No. 1. PP. 2301-9271.
- P. H. Adiwibowo, T. Maulana, (2019). "Uji Eksperimental Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Tipe Sudu Berpenampang Lurus dengan Luas Optimum Sudu". JTM. Vol. 7. No. 3. PP. 109-120.
- P. Sritram, R. Suntivarakorn, (2017). "Comparative Study of Small Hydropower Turbine Efficiency at Low Head Water". Energy Procedia, Vol. 138. No. 1. PP. 646-650.

- S. Dhakal, S. A. B. Timilsina, R. Dhakal, D. Fuyal, T. R. Bajracharya, H. P. Pandit, N. Amatya, A. M. Nakarmi, (2015). “*Comparison of Cylindrical and Conical Basins with Optimum Position of Runner: Gravitational Water Vortex Power Plant*”. In Renewable and Sustainable Energy Reviews. Vol. 48, No. 1. PP. 662–669.
- S. Tobing, S. Gultom, B. N. Taufiq, U. H. S. Ginting, Suprianto, A. H. Siregar, D. M. Nasution, (2016). “*Analisa Rumah Vortex Berbentuk Lingkaran Dengan Variasi Diameter Lubang Buang Menggunakan Perangkat Lunak CFD*”. Jurnal Dinamis. Vol. 4. No. 4. PP. 63-76.
- S. Wanchat, R. Suntivarakorn, K. Tonmit, P. Kayanyiem, (2013). “*A Parametric Study of a Gravitation Vortex Power Plant*”. Advanced Materials Research, Vol. 805. No. 1. PP. 811–817.
- T. Asa, J. Windarta (2020). “*Overview Potensi dan Perkembangan Pemanfaatan Energi Air di Indonesia*”. JEBT: Jurnal Energi Baru & Terbarukan. Vol. 1. No. 3, PP. 124 – 132.
- T. H. Aswanto, P. Purwantono, R. P. Putra, W. Afnison, (2023). “*Analisis Variasi Jumlah Sudu Terhadap Torsi yang Dihasilkan pada Turbin Vortex*”. Asian Journal of Science, Technology, Engineering, and Art, Vol. 1. No. 2. PP. 348–366.
- T. Rachmanto, y. Juliawan, Y. A. Padang”. *Pengaruh Variasi Saluran Masuk Terhadap Aliran Vortex pada Basin Turbin Vortex*. Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mataram.
- W. D. Prasetyo, (2018). “*Rancang Bangun Turbin Vortex Skala Kecil dan Pengujian Pengaruh Bentuk Penampang Sudu terhadap Daya*”. TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA, YOGYAKARTA.
- W. F. B. Sudrajad, R. H. Rahmanto, Y. Handoyo, (2019). “*Uji Eksperimen Efisiensi Turbin Reaksi Aliran Vortex Inlet Involut dengan Variasi Diameter Impeller*”. SEMNAS SINERGI. Vol. 1. No. 1. PP. 165-174.
- Y. Randabunga, (2013). “*Pengaruh Lebar Sudu Terhadap Kinerja Turbin Vortex*”. TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS GADJAH MADA, YOGYAKARTA.
- Y. S. H. Hunggul, Nugroho, M. S. Kudeng, (2015). “*Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro*”. TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG.