

KINCIR AIR SERI

Optimalisasi Saluran Irigasi Sebagai Sarana Pembangkit Listrik Tenaga Air

Kincir air telah menjadi simbol kebijaksanaan teknologi tradisional dalam memanfaatkan sumber daya alam demi kesejahteraan manusia. Dengan desain yang sederhana namun efektif, kincir air telah menjadi solusi yang andal untuk memenuhi kebutuhan energi di berbagai belahan dunia selama berabad-abad. Selain memberikan solusi praktis untuk menghasilkan energi listrik, kincir air juga memainkan peran penting dalam menjaga keberlanjutan lingkungan, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan mengurangi jejak karbon.

Dalam konteks irigasi, kincir air memiliki peran krusial dalam mengoptimalkan penggunaan air. Dengan kemampuannya untuk bekerja pada head rendah, kincir air dapat menghasilkan energi dari aliran air yang relatif lambat, seringkali tersedia di saluran irigasi. Ini tidak hanya meningkatkan efisiensi irigasi, tetapi juga memungkinkan penggunaan energi terbarukan untuk menggerakkan sistem pompa air dan alat-alat irigasi lainnya. Dengan demikian, kincir air bukan hanya sumber energi, melainkan juga elemen kunci dalam meningkatkan produktivitas pertanian dan keberlanjutan lingkungan di wilayah yang bergantung pada irigasi. Penggunaan kincir air seri menjadi salah satu hasil yang bermanfaat untuk memanfaatkan energi pada saluran irigasi tanpa mengganggu distribusi air.

Buku ini menghadirkan informasi mendalam tentang aplikasi kincir air seri, termasuk pengaruh jarak dan debitnya terhadap efisiensi dan efektivitas operasinya. Lebih lanjut, buku ini mengeksplorasi penerapan kincir air seri dalam proyek-proyek energi terbarukan. Dengan pemahaman yang lebih mendalam tentang kincir air seri, pembaca dapat melihat potensi energi terbarukan yang dapat diandalkan dan ramah lingkungan dalam mengatasi tantangan energi dan lingkungan di masa depan.



PT MAFY MEDIA LITERASI INDONESIA
ANGGOTA IKAPI 041/SBA/2023
Email : penerbitmafya@gmail.com
Website : penerbitmafya.com
FB : Penerbit Mafy



Dan Mugisidi



KINCIR AIR SERI Optimalisasi Saluran Irigasi Sebagai Sarana Pembangkit Listrik Tenaga Air

KINCIR AIR SERI

Optimalisasi Saluran Irigasi Sebagai Sarana Pembangkit Listrik Tenaga Air

Dan Mugisidi

KINCIR AIR SERI
Optimalisasi Saluran Irigasi
Sebagai Sarana Pembangkit
Listrik Tenaga Air

UU No 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. penggunaan kutipan singkat ciptaan dan/atau produk hak terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. penggandaan ciptaan dan/atau produk hak terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. penggandaan ciptaan dan/atau produk hak terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan fonogram yang telah dilakukan pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu ciptaan dan/atau produk hak terkait dapat digunakan tanpa izin pelaku pertunjukan, produser fonogram, atau lembaga penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

KINCIR AIR SERI

Optimalisasi Saluran Irigasi Sebagai Sarana Pembangkit Listrik Tenaga Air

Dan Mugisidi



KINCIR AIR SERI Optimalisasi Saluran Irigasi Sebagai Sarana Pembangkit Listrik Tenaga Air

Penulis:
Dan Mugisidi

Editor:
Oktarina Heriyani

Tata Letak:
Ara Caraka

Desain Cover:
Mafy Media

Sumber Gambar Cover:
Freepick.com

Ukuran:
viii, 74 hlm., 17,6 cm x 25 cm

ISBN:
978-623-8575-56-5

Cetakan Pertama:
Maret 2024

Hak Cipta Dilindungi oleh Undang-undang. Dilarang menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

**PT MAFY MEDIA LITERASI INDONESIA
ANGGOTA IKAPI 041/SBA/2023**

Kota Solok, Sumatera Barat, Kode Pos 27312

Kontak: 081374311814

Website: www.penerbitmafy.com

E-mail: penerbitmafy@gmail.com

DAFTAR ISI

PRAKATA	vii
BAB I KEBUTUHAN AKAN ENERGI LISTRIK	1
BAB II KINCIR AIR	9
A. Kincir Air Overshot	10
B. Kincir Air Breastshot	12
C. Kincir Air Undershot	13
BAB III EFISIENSI KINCIR AIR.....	17
BAB IV ALIRAN AIR	19
BAB V COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD).....	23
BAB VI KINCIR AIR SERI	27
BAB VII SALURAN TERBUKA BUATAN	47
BAB VIII MANFAAT RANGKAIAN KINCIR AIR.....	65
DAFTAR PUSTAKA	67

PRAKATA

Puji syukur kami panjatkan Allah SWT, berkat limpahan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penulisan buku dengan judul, "KINCIR AIR SERI Optimalisasi Saluran Irigasi Sebagai Sarana Pembangkit Listrik Tenaga Air" ini.

Kincir air telah menjadi simbol kebijaksanaan teknologi tradisional dalam memanfaatkan sumber daya alam demi kesejahteraan manusia. Dengan desain yang sederhana namun efektif, kincir air telah menjadi solusi yang andal untuk memenuhi kebutuhan energi di berbagai belahan dunia selama berabad-abad. Selain memberikan solusi praktis untuk menghasilkan energi listrik, kincir air juga memainkan peran penting dalam menjaga keberlanjutan lingkungan, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan mengurangi jejak karbon.

Dalam konteks irigasi, kincir air memiliki peran krusial dalam mengoptimalkan penggunaan air. Dengan kemampuannya untuk bekerja pada head rendah, kincir air dapat menghasilkan energi dari aliran air yang relatif lambat, seringkali tersedia di saluran irigasi. Ini tidak hanya meningkatkan efisiensi irigasi, tetapi juga memungkinkan penggunaan energi terbarukan untuk menggerakkan sistem pompa air dan alat-alat irigasi lainnya. Dengan demikian, kincir air bukan hanya sumber energi, melainkan juga elemen kunci dalam meningkatkan produktivitas pertanian dan keberlanjutan lingkungan di wilayah yang bergantung pada irigasi. Penggunaan kincir air seri menjadi

salah satu hasil yang bermanfaat untuk memanfaatkan energi pada saluran irigasi tanpa mengganggu distribusi air.

Buku ini menghadirkan informasi mendalam tentang aplikasi kincir air seri, termasuk pengaruh jarak dan debitnya terhadap efisiensi dan efektivitas operasinya. Lebih lanjut, buku ini mengeksplorasi penerapan kincir air seri dalam proyek-proyek energi terbarukan. Dengan pemahaman yang lebih mendalam tentang kincir air seri, pembaca dapat melihat potensi energi terbarukan yang dapat diandalkan dan ramah lingkungan dalam mengatasi tantangan energi dan lingkungan di masa depan.

Penulis berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan memberi dukungan dalam proses penyelesaian buku ini. Kepada keluarga, rekan dan seluruh tim Penerbit PT Mafy Media Literasi Indonesia yang telah melakukan proses penerbitan, cetak, dan distributor terhadap buku kami, penulis haturkan terima kasih.

Penulis menanti saran konstruktif untuk perbaikan dan peningkatan pada masa mendatang. Semoga buku ini dapat memberikan kontribusi dan khazanah informasi. Sebagaimana peribahasa tak ada gading nan tak retak, mohon dimaafkan segala kekeliruan yang ada pada terbitan ini. Segala kritik dan saran, tentu akan diterima dengan tangan terbuka. Harapan penulis, semoga buku ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Jangan takut untuk menulis, dengan menulis kita bisa menuangkan asa-asa kita selama ini terpendam menjadi otentik bukan khayalan berkelanjutan tanpa ada realisasinya.

Penulis

BAB I

KEBUTUHAN AKAN ENERGI LISTRIK

Kebutuhan akan energi listrik terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi manusia yang tak terelakkan (Adanta et al., 2020). Data menunjukkan bahwa peningkatan penggunaan energi listrik telah terjadi secara signifikan dalam beberapa tahun terakhir. Pada tahun 2012, terjadi peningkatan sebesar 1,8% dibandingkan tahun sebelumnya. Namun, pada tahun 2018, peningkatan tersebut meningkat tajam menjadi 4% dibandingkan tahun sebelumnya (Looney, 2020). Fenomena ini mencerminkan kebutuhan yang semakin mendesak akan sumber energi yang dapat diandalkan dan berkelanjutan. Masalah utama yang muncul adalah sebagian besar sumber energi listrik saat ini masih bergantung pada bahan bakar fosil yang jumlahnya terbatas. Mengingat keterbatasan sumber daya alam ini, pendekatan berkelanjutan dalam memenuhi kebutuhan energi menjadi semakin penting. Studi oleh

(Monsalve-Cifuentes et al., (2021) menegaskan bahwa energi terbarukan menjadi pilihan yang tak terhindarkan dalam menjawab tantangan ini.

Saat ini, sebagian besar sumber energi listrik masih bergantung pada bahan bakar fosil yang jumlahnya terbatas. Keterbatasan ini menimbulkan kekhawatiran akan keberlanjutan dan memunculkan kebutuhan akan solusi alternatif yang dapat memenuhi kebutuhan energi global tanpa merusak lingkungan. Dalam konteks ini, energi terbarukan menjadi fokus utama dalam penelitian dan pengembangan energi.

Energi terbarukan menawarkan sumber energi yang bersih, terbarukan, dan ramah lingkungan. Pembangkit listrik tenaga air, angin, dan surya merupakan contoh teknologi energi terbarukan yang paling umum dan menjanjikan. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk mengembangkan teknologi ini, termasuk energi angin (Balduzzi et al., 2016; Im & Kim, 2022; Scheaua, 2021), energi panas bumi (Ahmed et al., 2022), energi biogas (Kabeyi & Olanrewaju, 2022), serta energi dari biomassa (Tun et al., 2019). Namun, di antara semua ini, energi hidro masih menjadi yang paling banyak dimanfaatkan (Klar et al., 2018).

Pembangkit listrik tenaga air (PLTA) telah lama diakui sebagai salah satu sumber energi bersih dan terbarukan yang memiliki potensi pengembangan yang sangat besar, terutama di daerah terpencil (Güney & Kaygusuz, 2010). Keberadaan sumber daya air yang melimpah di daerah terpencil membuat PLTA menjadi pilihan yang menarik dalam upaya memenuhi kebutuhan energi lokal dan mengurangi ketergantungan pada sumber energi fosil.

Meskipun potensinya besar, keberhasilan PLTA tidak terlepas dari sejumlah faktor, termasuk faktor topografi dan hidrologi. Salah satu faktor utama yang memengaruhi kinerja PLTA adalah head, yang merupakan perbedaan ketinggian antara sumber air dan turbin (Rafae Alomar et al., 2022). Semakin besar perbedaan ketinggian ini, semakin besar potensi energi yang dapat dihasilkan oleh PLTA. Namun, pemilihan lokasi yang sesuai dan perencanaan yang cermat diperlukan untuk memanfaatkan potensi energi ini secara optimal.

Pembangkit listrik tenaga air dari bendungan sering kali dihadapkan pada tantangan yang kompleks. Proses pembangunan dan operasionalnya sangat bergantung pada kondisi geografis dan hidrologi setempat (Choudhury et al., 2019). Selain itu, pembangunan

bendungan itu sendiri membutuhkan investasi yang besar dan sering kali melibatkan dampak lingkungan yang signifikan.

Meskipun demikian, dengan perencanaan yang tepat dan teknologi yang canggih, PLTA tetap menjadi salah satu pilihan yang menjanjikan dalam mendukung keberlanjutan energi di masa depan. Dengan memanfaatkan potensi air yang melimpah, terutama di daerah terpencil, PLTA dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam memenuhi kebutuhan energi lokal sambil meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, penelitian dan inovasi terus diperlukan untuk mengoptimalkan kinerja dan efisiensi PLTA serta memastikan bahwa pemanfaatannya sesuai dengan prinsip-prinsip keberlanjutan. Oleh karena pembangkit listrik tenaga mikrohidro menjadi pilihan.

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro di kawasan off-grid memainkan peran penting dalam pengembangan daerah terpencil (Ngowi et al., 2019). Selain itu, penelitian tentang pembangkit listrik tenaga rendah (low head) semakin berkembang (Mugisidi et al., 2022) untuk mengeksplorasi potensi energi hidro bahkan di area dengan kondisi topografi yang rendah. Ini penting karena pembangkit listrik tenaga hidro memiliki dampak positif

dalam pengentasan kemiskinan dan pelestarian lingkungan (Harlan, 2018). Dengan demikian, penelitian dan pengembangan energi terbarukan, khususnya dalam konteks energi hidro dengan head rendah, menjadi sangat relevan dalam menjawab tantangan energi dan lingkungan global.

Pembangkit listrik dengan head rendah mempunyai potensi yang sangat besar (Ueda et al., 2013) dan tidak merusak lingkungan (Koç, 2018). Perkembangan penelitian terkini untuk memanfaatkan energy head rendah mengarah pada pengembangan *Pico hydro*. *Pico hydro* merupakan suatu upaya untuk menghasilkan energi listrik kurang dari 5 kW dengan memanfaatkan aliran air dengan head yang rendah (Williamson et al., 2019) dan merupakan cara pembangkit listrik yang efektif, andal, serta hemat biaya (Kadier et al., 2018). Bahkan cara ini dipandang lebih menguntungkan dibandingkan menggunakan mesin diesel, generator angin, bahkan sel surya (Balkhair & Rahman, 2017) pada head rendah.

Pada head rendah, pompa aksial dapat digunakan untuk turbin dengan aliran 50 hingga 1000 l/s (Bozorgi et al., 2013) dan pada head yang sangat rendah kincir air akan sangat berguna asalkan radius rasio perendamannya lebih dari 0,5 (Tevata & Inprasit, 2011). Kincir Zuppinger

memiliki efisiensi hingga 75% (Paudel et al., 2017a) dan berkurang menjadi 60% pada head antara 0,5 m dan 1 m (Quaranta & Müller, 2019). Selanjutnya, karena kemampuan untuk digunakan pada head sangat rendah, kincir Dethridge (Paudel & Saenger, 2016a) digunakan untuk pembangkit listrik pada saluran irigasi dan hal ini sesuai dengan kondisi Indonesia yang mempunyai topografi berbukit dan dialiri oleh sungai dan saluran irigasi. (Lubis, 2007).

Saluran irigasi digunakan untuk mengalirkan air sehingga dapat mengairi sawah. Jumlah saluran irigasi yang dibuat pada tahun 2018 sebanyak 5000 unit (Pratomo, 2018) dan hingga tahun 2019 direncanakan membangun jaringan saluran irigasi seluas 1 juta hektar. Saluran irigasi berpotensi menghasilkan listrik sebesar 1,5 - 2 kW/Ha (Butera & Balestra, 2015) dengan menggunakan kincir air dan setelah melewati instalasi kincir air, jumlah air yang mengalir tidak berkurang sehingga dapat digunakan kembali untuk menghasilkan listrik dengan menggunakan kincir air atau kincir air lain. dipasang secara seri. Sejauh ini belum banyak penelitian mengenai kincir air seri, salah satunya yang dilakukan oleh Asral (Asral et al., 2019) namun belum ada penelitian yang mengeksplorasi pengaruh jarak antar kincir terhadap efisiensinya. Oleh

karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memaksimalkan pemanfaatan gaya aliran air pada ketinggian rendah pada saluran irigasi melalui pemasangan kincir air secara seri dan menentukan jarak optimum antar kincir.

Dibandingkan dengan pendekatan analitik dan eksperimental, metode CFD memberikan visualisasi bidang aliran yang lebih detail (Kolšek et al., 2006). Jaringan bergerak dipilih untuk perkiraan sementara karena memerlukan daya komputasi yang lebih sedikit dan telah banyak digunakan oleh para peneliti (Pienika et al., 2020; Widiawaty et al., 2022).

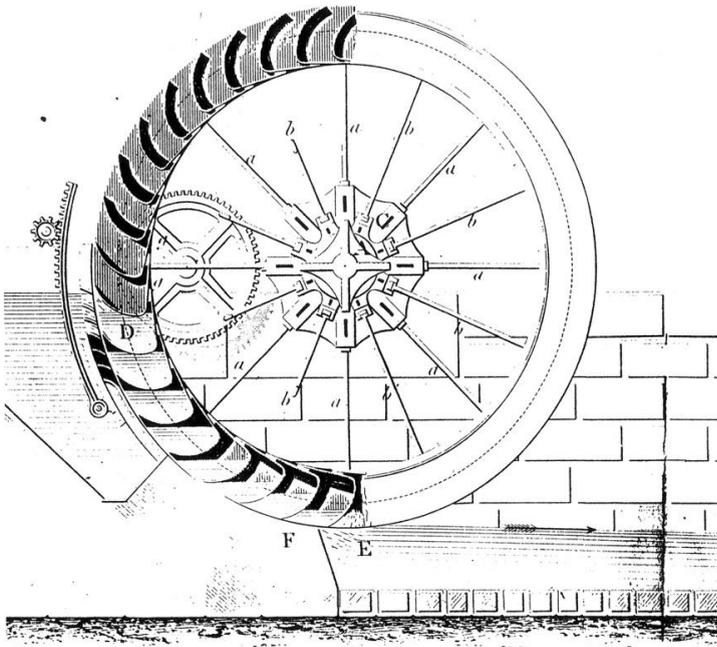
D. Kincir Air Overshot

Kincir air overshot merupakan salah satu jenis kincir air yang digerakkan oleh aliran air yang masuk dari bagian atas kincir, menjadikan karakteristik utamanya yang membedakannya dari jenis kincir air lainnya (lihat Gambar 1). Keunikan ini memungkinkan kincir air overshot untuk efektif mengonversi energi aliran air menjadi energi mekanik.

Kincir air overshot biasanya dipilih ketika terdapat perbedaan ketinggian (head) yang cukup besar, berkisar antara 2,5 hingga 10 meter. Meskipun demikian, kincir ini hanya membutuhkan aliran air yang relatif kecil, yakni sekitar 0,1 hingga 0,2 meter kubik per detik untuk setiap meter lebar kincir. Dengan demikian, kincir air overshot sering dipilih untuk digunakan di sungai-sungai kecil atau saluran air yang memiliki aliran yang tidak terlalu deras.

Salah satu keunggulan kincir air overshot adalah tingkat efisiensinya yang tinggi, mencapai hingga 85%. Hal ini menjadikan kincir air ini sebagai pilihan yang menarik dalam menghasilkan energi listrik dari aliran air, terutama di lokasi-lokasi yang memenuhi syarat ketinggian dan debit air yang dibutuhkan.

Dengan karakteristiknya yang unik dan tingkat efisiensi yang tinggi, kincir air overshoot memiliki potensi besar dalam mendukung pengembangan energi terbarukan, khususnya dalam konteks pemanfaatan sumber daya air untuk pembangkit listrik. Selain itu, penggunaan kincir air overshoot juga dapat memberikan manfaat tambahan dalam hal pelestarian lingkungan dan keberlanjutan energi.



Gambar 2 Kincir air Breastshot
(Quaranta & Revelli, 2016)

E. Kincir Air Breastshot

Kincir air breastshot, seperti yang terlihat pada Gambar 2, menunjukkan karakteristik khusus dalam cara aliran air memasuki kincir tersebut. Aliran air memasuki kincir dari bagian tengah, sekitar setinggi poros kincir. Ini menjadi ciri khas yang membedakan kincir air breastshot dari jenis kincir air lainnya.

Kincir air breastshot biasanya dipilih untuk digunakan ketika terdapat perbedaan ketinggian (head) yang cukup moderat, berkisar antara 1,5 hingga 4 meter. Meskipun demikian, kincir ini membutuhkan debit air yang sedang, yakni sekitar 0,35 hingga 0,65 meter kubik per detik untuk setiap meter lebar kincir. Karena karakteristik aliran dan head yang moderat, kincir air breastshot sering dipilih untuk digunakan di sungai-sungai atau saluran air yang memiliki kondisi yang sesuai.

Efisiensi kincir air breastshot berkisar antara 20 hingga 79% (Gerald Mueller, 2004). Meskipun kisaran efisiensinya cukup luas, kincir ini tetap menjadi pilihan yang menarik untuk menghasilkan energi listrik dari aliran air dengan efisiensi yang dapat diterima.

Dengan karakteristik aliran air yang unik dan tingkat efisiensi yang dapat diterima, kincir air

breastshot memiliki potensi dalam mendukung pengembangan energi terbarukan, terutama dalam konteks pemanfaatan sumber daya air untuk pembangkit listrik. Keunggulannya yang moderat membuatnya dapat diterapkan dalam berbagai kondisi yang memenuhi syarat, sehingga dapat menjadi alternatif yang efektif untuk menghasilkan energi listrik dari aliran air.

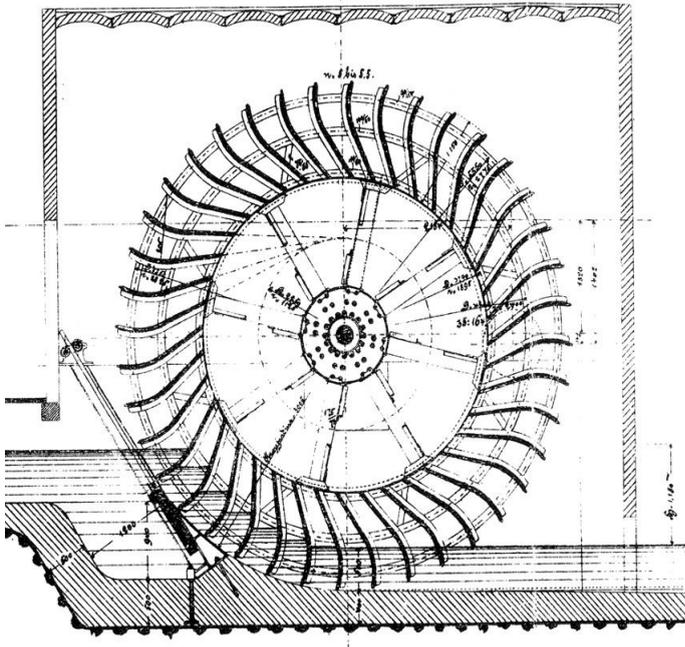
F. Kincir Air Undershot

Kincir air undershot (Gambar 3) bekerja ketika aliran air mendorong sudu bagian bawah kincir air. Ini berbeda dari jenis kincir air lainnya di mana aliran air mengalir di bagian atas atau tengah kincir. Karakteristik khusus ini membuat kincir air undershot cocok digunakan di perairan dangkal, terutama di daerah yang memiliki topografi yang relatif datar.

Karena aliran air berada di bagian bawah kincir, kincir air undershot biasanya lebih efektif digunakan di sungai-sungai dangkal atau saluran air yang memiliki kedalaman yang terbatas. Ini membuatnya menjadi pilihan yang populer di daerah-daerah dengan kondisi topografi yang relatif datar.

Efisiensi kincir air undershot bervariasi, berkisar antara 25% hingga 75%. Meskipun efisiensinya tidak sebesar kincir air jenis lainnya, kincir undershot masih mampu menghasilkan energi listrik dengan tingkat efisiensi yang dapat diterima.

Debit air yang dibutuhkan untuk kincir air undershot berkisar antara 0,5 hingga 0,95 meter kubik per detik untuk setiap meter lebar kincir. Hal ini menunjukkan bahwa kincir undershot membutuhkan aliran air yang cukup untuk dapat beroperasi secara efektif.



Gambar 3 Kincir air Breastshot
(Müller, 1983)

Dengan karakteristiknya yang unik dan kemampuannya untuk beroperasi di perairan dangkal dengan efisien, kincir air undershot dapat menjadi pilihan yang cocok untuk memanfaatkan energi air di daerah-daerah dengan topografi yang datar. Meskipun tidak seefisien kincir air jenis lainnya, kincir undershot masih dapat memberikan kontribusi yang berarti dalam menghasilkan energi listrik dari aliran air yang ada.

BAB III

EFISIENSI KINCIR AIR

Untuk memperoleh daya kincir air maka kecepatan aliran pada saluran terbuka harus diketahui. Untuk memperoleh kecepatan aliran makan luas penampang saluran terbuka harus diketahui, yaitu menggunakan persamaan berikut ini (Wayanmundra1 et al., 2020)

$$A = (b + m)h \quad (1)$$

Sehingga dapat diperoleh kecepatan aliran dengan menggunakan persamaan (Yani et al., 2016)

$$v = \frac{Q}{A} \quad (2)$$

Head (H) dilakukan pendekatan dengan persamaan (Paudel et al., 2017b)

$$H = \left[z_1 + h_1 + \frac{v_1^2}{2g} \right] - \left[z_2 + h_2 + \frac{v_2^2}{2g} \right] \quad (3)$$

Daya air yang mengalir (P_i) merupakan parameter penting yang digunakan untuk menghitung berbagai aspek kinerja kincir air, seperti torsi yang dihasilkan dan kecepatan angularnya. Dalam konteks ini, P_i

mencerminkan jumlah energi kinetik yang dimiliki oleh aliran air saat melewati kincir. Semakin besar daya air yang mengalir, semakin besar juga potensi untuk menghasilkan torsi dan energi mekanik oleh kincir air.

Untuk menghitung torsi yang dihasilkan oleh kincir air, diperlukan pemahaman tentang hubungan antara daya air yang mengalir, kecepatan angular, dan efisiensi kincir. Persamaan matematika yang digunakan untuk menggambarkan hubungan ini dapat ditemukan dalam literatur. Persamaan ini memungkinkan perhitungan yang akurat tentang kinerja kincir air berdasarkan daya air yang mengalir yang diterimanya (Paudel & Saenger, 2016b)

$$P_{in} = Q \cdot \rho \cdot g \cdot h \quad (4)$$

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

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (6)$$

$$P_o = \omega \cdot T \quad (7)$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\% \quad (8)$$

BAB IV

ALIRAN AIR

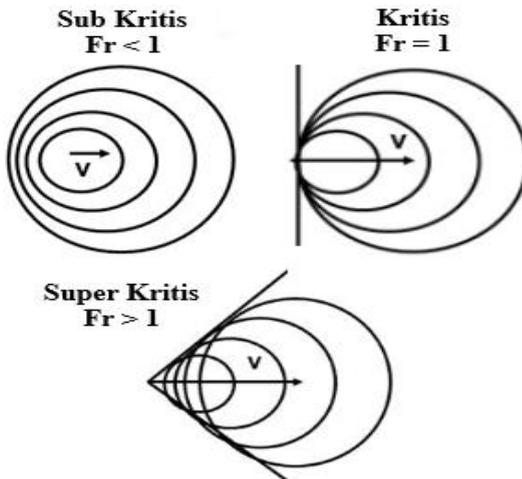
Energi kinetik yang terkandung dalam aliran air memainkan peran kunci dalam menggerakkan kincir air. Semakin tinggi laju aliran air, semakin besar pula energi kinetik yang tersedia untuk digunakan. Untuk mengkategorikan jenis aliran air, biasanya digunakan parameter yang disebut Froude number (Fr) (Bahaj et al., 2007). Fr merupakan perbandingan antara kecepatan aliran dengan akar kuadrat dari produk antara gravitasi dan kedalaman aliran.

Berdasarkan nilai Fr , aliran air dapat dibedakan menjadi tiga kategori utama. Aliran dikatakan subkritis jika nilai Fr kurang dari satu ($Fr < 1$), yang berarti energi kinetik lebih dominan daripada energi potensial gravitasi. Aliran yang memiliki nilai Fr sama dengan satu ($Fr = 1$) disebut aliran kritis, di mana energi kinetik dan energi potensial gravitasi memiliki kontribusi yang sama dalam aliran.

Sedangkan aliran dikategorikan sebagai superkritis jika nilai Fr melebihi satu ($Fr > 1$), yang menunjukkan dominasi energi potensial gravitasi dalam aliran tersebut (Junaidi, 2014).

Perhitungan Fr dilakukan dengan menggunakan persamaan matematika tertentu yang menggambarkan hubungan antara kecepatan aliran, gravitasi, dan kedalaman aliran. Dengan memahami nilai Fr dari suatu aliran, kita dapat menentukan karakteristiknya dan bagaimana kincir air dapat dioptimalkan untuk memanfaatkan energi aliran tersebut dengan efisien.

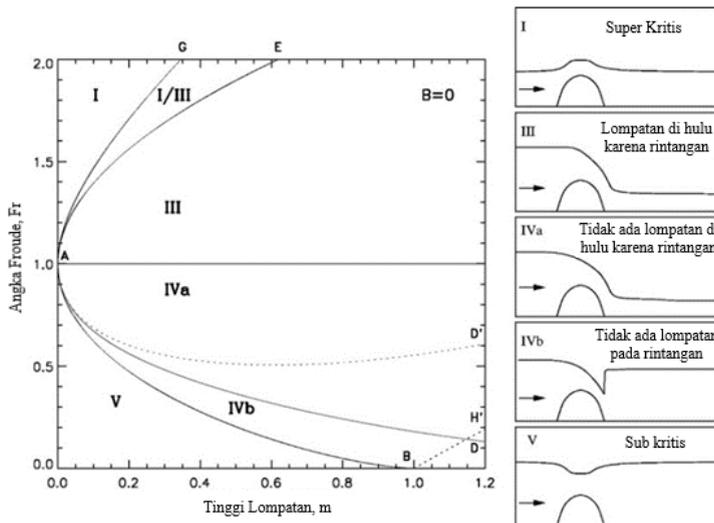
$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot D}} \quad (9)$$



Gambar 4 Pengelompokan aliran

(Junaidi, 2014)

Bentuk aliran berdasarkan angka Froude diilustrasikan bentuknya sebagaimana yang ditampilkan pada Gambar 5



Gambar 5 Ilustrasi bentuk aliran berdasarkan angka Froude (Esler et al., 2005)

BAB V

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS (CFD)

Sebagaimana telah disebutkan sebelumnya bahwa hasil penelitian juga dibandingkan menggunakan Analisa numerik CFD. Computational Fluid Dynamics (CFD) merubah persamaan atur dinamika fluida dalam bentuk integral dan turunan menjadi bentuk aljabar yang terdiskritisasi, yang mana dapat diselesaikan dengan komputer untuk memperoleh nilai-nilai dari medan aliran pada titik atau waktu diskrit tertentu. Adapun persamaan atur dalam dinamika fluida ada tiga yaitu persamaan kontinuitas, persamaan momentum dan persamaan energi. Persamaan kontinuitas bentuk integral

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_V \rho dV + \iint_A \rho \vec{V} \cdot d\vec{A} = 0$$

Persamaan kontinuitas bentuk diverensial,

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \rho \vec{V} \cdot \vec{V} = 0$$

Persamaan momentum pada arah sumbu x,

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho u \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho f_x$$

Persamaan momentum pada arah sumbu y,

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho v \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \rho f_y$$

Persamaan momentum pada arah sumbu z,

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho w \vec{V}) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \rho f_z$$

Persamaan energi ditulis dalam bentuk *internal energy*,

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \left[\rho \left(e + \frac{V^2}{2} \right) \right] + \vec{\nabla} \cdot \left[\rho \left(e + \frac{V^2}{2} \right) \vec{V} \right] \\ = \rho \dot{q} - \frac{\partial(\rho p)}{\partial x} - \frac{\partial(v p)}{\partial y} - \frac{\partial(w p)}{\partial z} + \rho \vec{f} \cdot \vec{V} \end{aligned}$$

Solusi dari persamaan analitis diferensial parsial (PDE) seringkali diinginkan dalam bentuk tertutup yang memungkinkan untuk mendapatkan ekspresi yang analitis atau matematis yang jelas dari variabel yang terlibat. Ini berarti bahwa solusi tersebut dinyatakan sebagai fungsi matematis yang terdefinisi di seluruh domain yang relevan. Dengan kata lain, solusi analitis memberikan gambaran lengkap tentang perilaku variabel tergantung pada variabel independen di seluruh domain tersebut.

Di sisi lain, solusi dari persamaan numerik menyajikan pendekatan yang berbeda. Dalam

penyelesaian numerik, domain yang relevan dipecah menjadi bagian-bagian diskrit yang disebut grid atau grid titik. Solusi numerik kemudian diperoleh dengan menghitung nilai variabel yang tergantung pada setiap titik grid ini. Perlu dicatat bahwa solusi numerik ini hanya memberikan nilai pada titik-titik diskrit di dalam domain dan tidak memberikan gambaran kontinu di antara titik-titik tersebut.

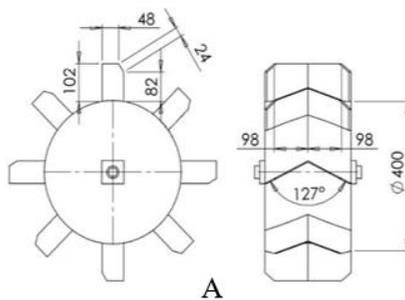
Perbedaan ini merupakan konsekuensi dari pendekatan yang berbeda dalam menyelesaikan masalah PDE. Solusi analitis memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang perilaku variabel dalam domain, sementara solusi numerik lebih fokus pada mendapatkan solusi secara efisien melalui pendekatan komputasi. Meskipun solusi numerik cenderung lebih terbatas dalam hal representasi kontinu, mereka sering kali merupakan pilihan yang lebih praktis dan efektif dalam menyelesaikan masalah dunia nyata di mana solusi analitis mungkin tidak mungkin atau sulit diperoleh.

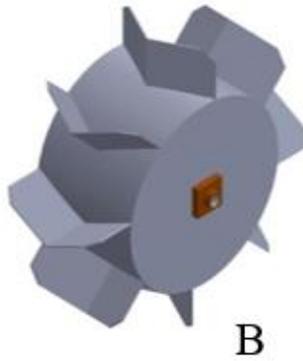
BAB VI

KINCIR AIR SERI

Peralatan

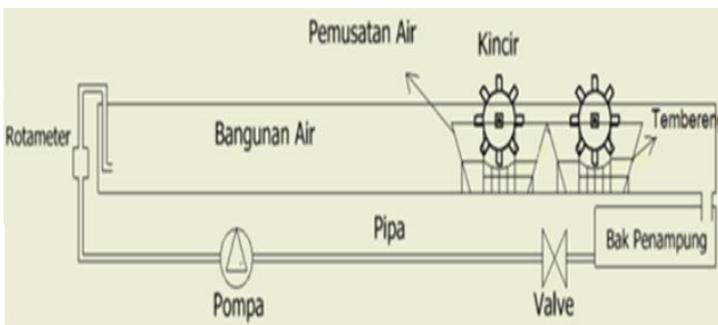
Kincir air air yang digunakan pada penelitian ini menggunakan kincir air Dethridge. Kincir air Dethridge merupakan alat untuk mengukur aliran irigasi yang merupakan hasil invensi John Stewart Dethridge pada tahun 1910. Kincir air ini telah digunakan pada beberapa penelitian (*Mugisidi et al., 2018, 2022; Paudel & Saenger, 2016a, 2017*) karena bentuknya sederhana dan mudah pembuatannya. Dua unit kincir Dethridge yang identik dengan geometri pada Gambar 6 digunakan sebagai kincir air seri.





Gambar 6 Geometri (A) dan gambar 3D (B) kincir
Dethridge
(Mugisidi et al., 2022)

Kincir Dethridge yang digunakan sebagai kincir air seri dipasang pada Saluran irigasi buatan yang ukurannya sesuai dengan standar irigasi di Indonesia (Effendy, 2012). Panjang saluran 20 meter dan dindingnya di buat dari akrilik sehingga aliran yang terjadi dapat dilihat dari samping seperti Gambar 7.



Gambar 7 Peralatan pengujian kincir air seri

Air pada sistem saluran ini ditampung pada suatu reservoir dan dialirkan ke dalam saluran menggunakan 2 buah pompa air dengan debit aliran 70 m³/jam. Sebelum masuk ke saluran, air akan melewati rotameter yang mempunyai kapasitas ukur 2 m³/jam - 150 m³/jam. Debit yang digunakan pada penelitian ini sebesar 20, 30, 60 90 dan 120 m³/jam yang diperoleh dengan mengatur putaran motor. Pengukuran putaran kincir, kecepatan aliran, torsi dan ketinggian air menggunakan alat pada tabel 1.

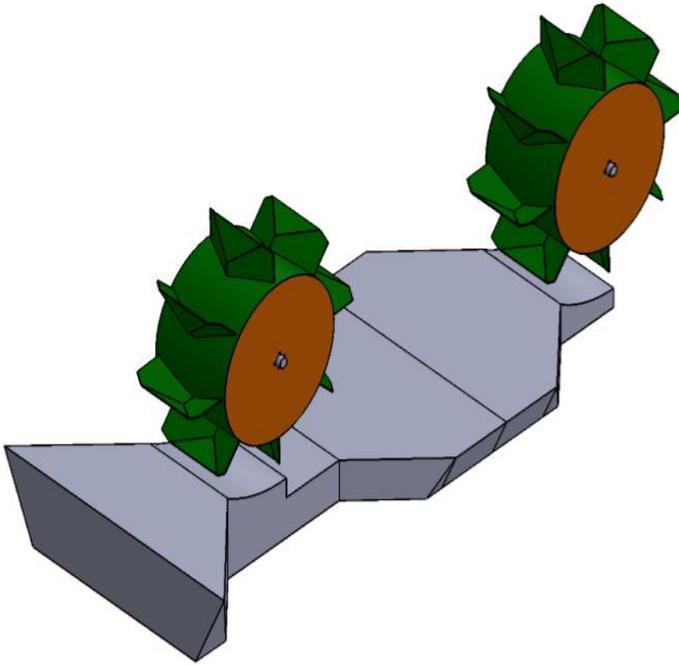
Tabel 1 Alat ukur

Alat		Spesifikasi
Tachometer	KW06-563	2 - 20.000 rpm, 0.05% +1
Torquemeter	Lutron TQ-8800	Max: 15 Kg.cm
Steel Ruler		30 cm (\pm 1mm)
Flow watch	FL-03	Max: 41.7 m/s (+/- 2%)

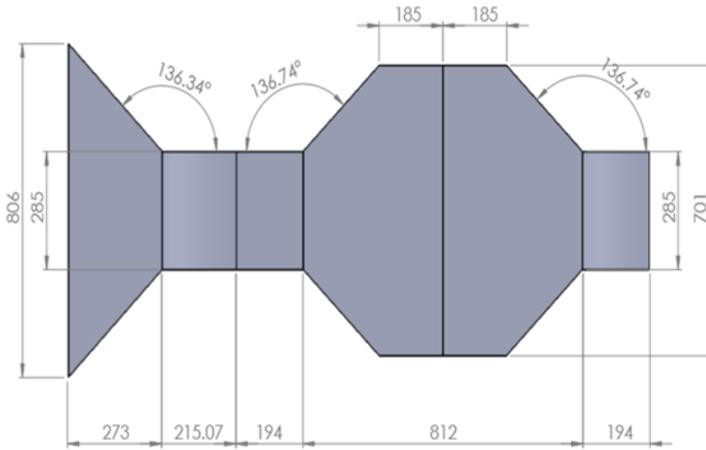
Karena pengukuran torsi maksimum adalah 15 kg-cm (1,47 N-m), maka torsi dibatasi pada kisaran 0,7 hingga 0,8 N-m, sedangkan putaran kincir mengikuti aliran air.

Kincir air Dethridge yang digunakan sebagai kincir air seri ditempatkan di atas saluran yang dasarnya dibentuk

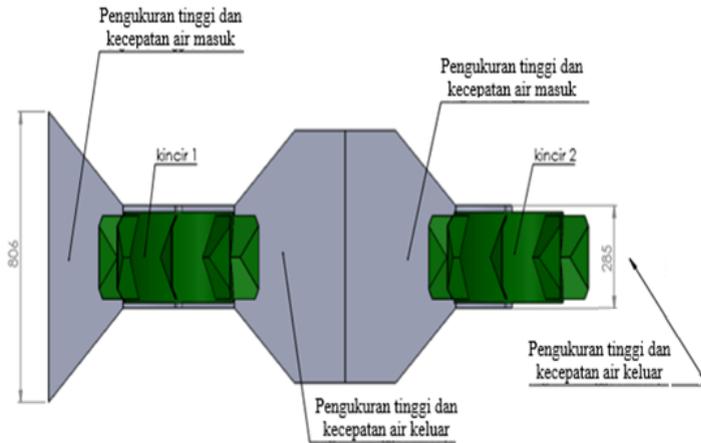
sesuai dengan kebutuhan, sebagai mana ditampilkan pada Gambar 8 dan Gambar 9. Jarak antar kincir dapat dijauhkan tetapi ketinggian dasar saluran akan dibuat sama sehingga tidak ada perubahan aliran karena perubahan ketinggian antara kincir pertama dengan kincir berikutnya.



Gambar 8 Tampilan 3 dimensi dasar saluran kincir air seri



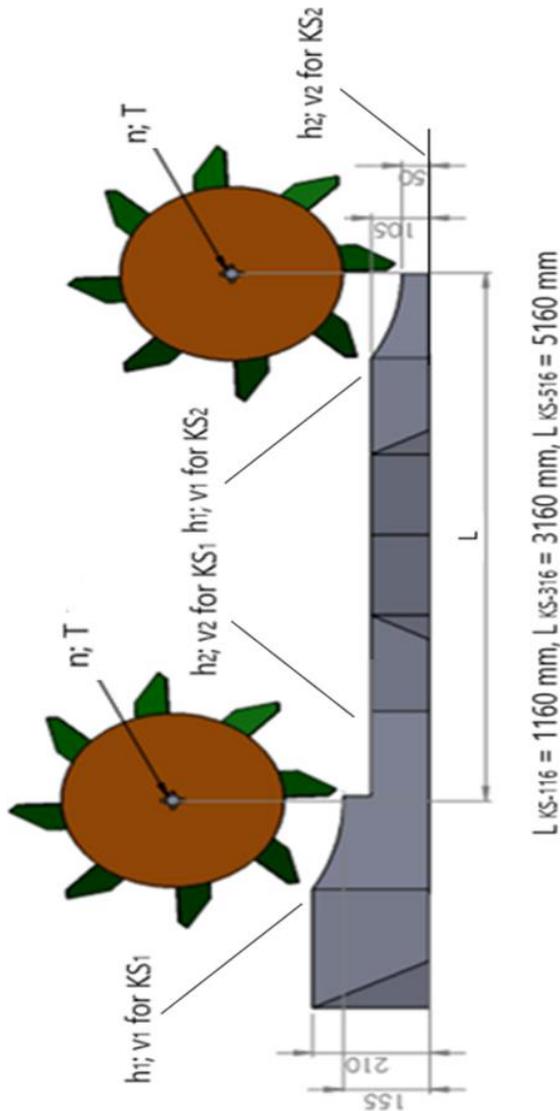
Gambar 9 Dimensi Dasar saluran kincir air seri



Gambar 10 Dimensi Dasar saluran kincir air seri

Pengumpulan data dilakukan untuk empat kondisi yaitu kincir tunggal dan kincir seri dengan jarak antar

kincir 1160 mm, 3160 mm, dan 5160 mm (Gambar 10 dan Gambar 11).



Gambar 11 Dimensi Dasar saluran kincir

Kincir seri dengan jarak 1160 mm selanjutnya disebut KS-116; kincir seri dengan jarak antar kincir 3160 mm disebut KS-316; dan seri kincir dengan jarak antar kincir

5160 mm disebut KS-516. Gambar 11 menunjukkan tempat Pengambilan data untuk kecepatan aliran (v), tinggi air (h) Penambahan subskrip 1 atau 2 setelah 'KS' masing-masing menunjukkan kincir pertama atau kincir kedua. Perlu dicatat bahwa satu-satunya perbedaan antara KS-116, KS-316, dan KS-516 adalah jarak kincirnya.

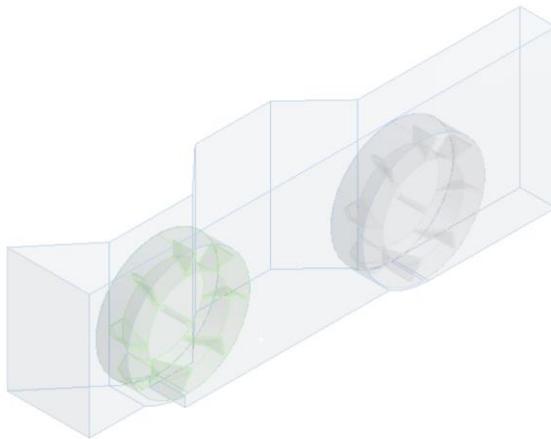
Proses pengambilan data dilakukan secara manual. Saat pompa mulai dinyalakan air mengalir memasuki kanal. Air di dalam kanal akan semakin tinggi. Setelah tinggi air telah tidak berubah maka proses pengambilan data dilakukan. Debit dimulai dari debit $20 \text{ m}^3/\text{h}$ kemudian Setelah diambil datanya maka debit akan dinaikkan menjadi $30 \text{ m}^3/\text{h}$. Ketinggian muka air akan berubah dan seperti pada pengambilan data sebelumnya, data diambil Setelah ketinggian air stabil, Setiap variasi debit pengambilan data dilakukan triplo. Proses ini terus dilakukan hingga debit $120 \text{ m}^3/\text{h}$

CFD

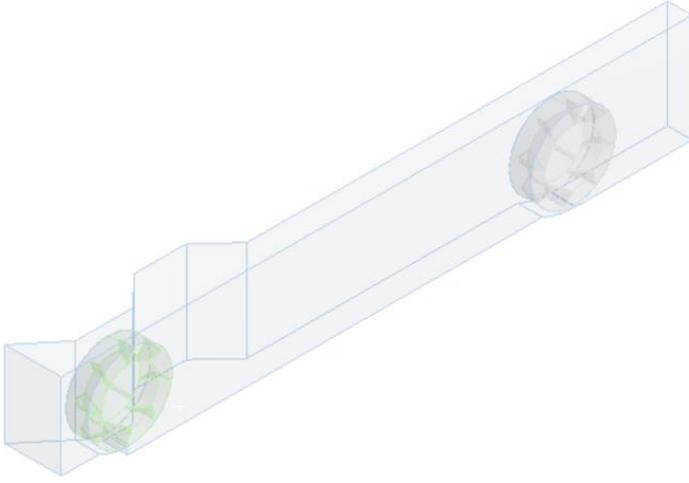
Simulasi menggunakan *computational fluid dynamics* (CFD) telah dilakukan oleh banyak peneliti dan dipergunakan sebagai bagian dari analisis hasil penelitian (El-Sebaey et al., 2020; Khare et al., 2017; Nadgire et al.,

2020; Yan et al., 2020). Simulasi di dalam penelitian ini menggunakan software Ansys Fluent 18.2.

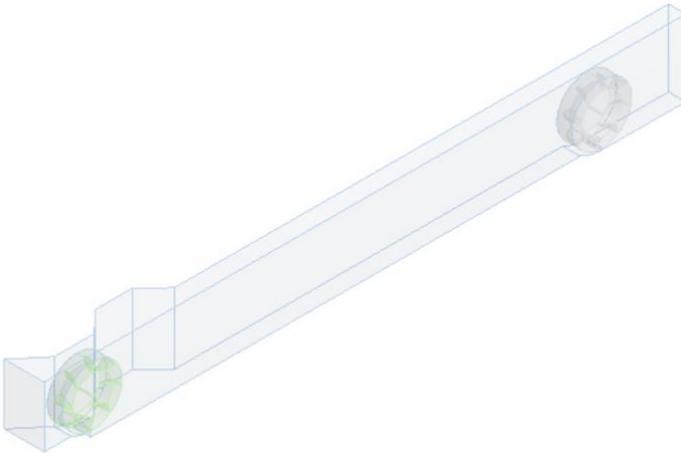
Geometri yang digunakan pada simulasi ini disesuaikan dengan eksperimen yang dilakukan. Pada simulasi kincir dibuat menjadi tiga, yaitu kincir air tunggal, kincir air seri dengan jarak 1160 mm, kincir ari seri dengan jarak 3160 mm dan kincir air seri yang memiliki jarak 5160 mm sebagaimana ditampilkan pada Gambar 12 hingga Gambar 14.



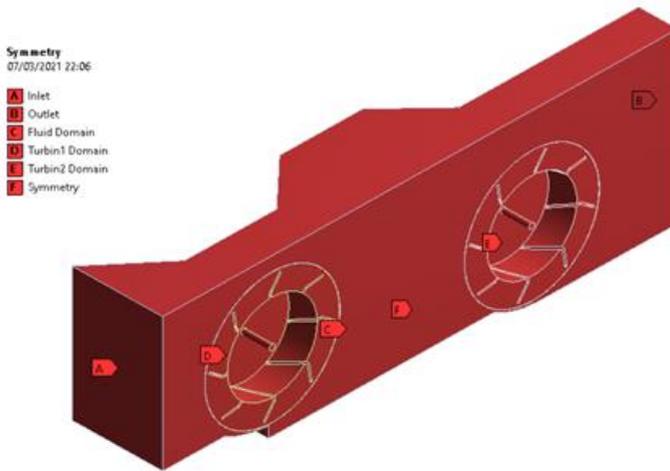
Gambar 12 Kincir air dengan jarak 1160 mm



Gambar 13 Kincir air dengan jarak 3160 mm



Gambar 14 Kincir air dengan jarak 5160 mm



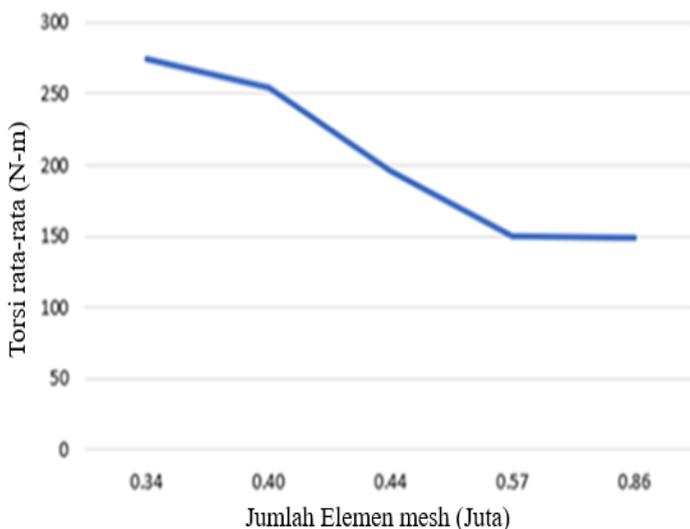
Gambar 15 Domain fluida kincir air

Karakteristik dan kinerja kincir air seri disimulasikan menggunakan ANSYS 18.1. Domain kincir dan fluida (Gambar 15) menggunakan jaring tetrahedral karena kerumitan sistem. Setelah menentukan domain kincir dan fluida maka proses selanjutnya adalah meshing.

Meshing atau diskritisasi pada CFD adalah proses konversi domain solid yang kontinyu menjadi domain komputasi yang diskrit sehingga persamaan-persamaan struktural dapat diselesaikan solusinya menggunakan metode numerik baik CFD maupun FEA.

Mesh yang efisien sangat penting pada simulasi multifasa karena mempengaruhi akurasi simulasi (Hamad

et al., 2018). Uji independensi grid adalah salah satu teknik untuk mengurangi waktu dan biaya komputasi oleh karena itu, perlu dilakukan uji independensi grid seperti ditampilkan pada Gambar 16. Independensi grid telah konvergen apabila error kurang dari 1% (Gnanavel et al., 2020; Shoeibi et al., 2021) dan pada penelitian diperoleh pada torsi rata-rata terbesar 150 Nm.



Gambar 16 Uji independensi grid

Dalam simulasi CFD ini, domain turbin air yang dibuat memiliki fitur-fitur yang sederhana, sehingga mesh tipe hexahedral di gunakan pada geometri yang mudah dibentuk dengan mesh tersebut. Untuk mesh tetrahedral

digunakan pada fluid domain guna memperoleh hasil yang memiliki resolusi tinggi, lebih cepat komputasinya serta lebih efisien penggunaan elemennya.

Setting komputasi yang digunakan untuk mensimulasikan kincir air seri adalah:

- Multiphase: Volume of Fluid

Permodelan multiphase digunakan untuk mengakomodasi aliran dua fasa yang berbeda (liquid dan gas) yang saling berinteraksi. Digunakan model Volume of Fluid (VoF) karena cukup baik untuk dua fasa dengan perbedaan massa jenis yang ekstrim (berbeda sektitar 1000 kali lipat)

- Turbulent: K-omega, SST

Model k-omega digunakan karena cukup handal untuk memodelkan aliran dengan adverse pressure gradient, serta untuk aliran yang berputar dengan celah-celah sempit seperti kasus ini. Sedangkan modifikasi persamaan SST digunakan untuk mengakomodasi daerah-daerah yang luas.

- Material

Seting material pada simulasi ini pada fluid domain dengan metode multifasa menggunakan air dan udara.

- Cell Zone Condition

Domain fluida yang digunakan menggunakan material air dan udara dengan metode mixture. Pada cell zone silinder juga diinput Gerakan mesh dengan setingan mesh motion untuk menginput efek rotasi dari turbin.

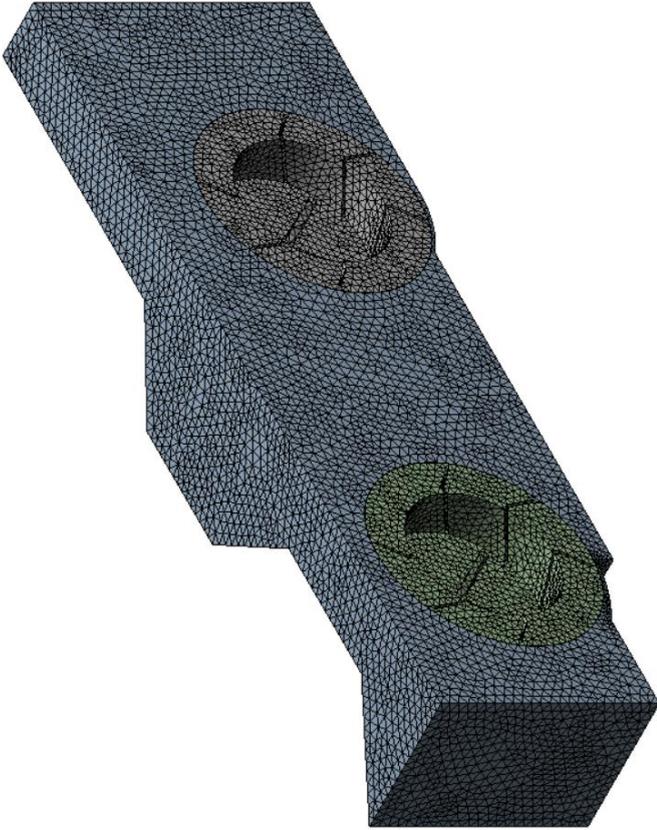
- Boundary Conditions

Berikut adalah input-input yang digunakan pada boundary conditions:

- Gravitasi digunakan untuk menimbulkan efek aliran dan gelombang yang digunakan.
- Wall Fluid domain: Pada dinding-dinding fluid domain didefinisikan sebagai wall dengan no slip condition untuk merepresentasikan gesekan antara fluida dengan dinding.
- Inlet: Menggunakan velocity-inlet dengan kecepatan sesuai variasi pada air dan 0 m/s pada udara.
- Outlet: Menggunakan pressure-outlet dengan gauge pressure 0 Pa

Pengaturan lain yang tidak diinformasikan disini mengacu pada pengaturan bawaan yang sudah direkomendasikan untuk memperoleh solusi numerik yang konservatif.

Hasil meshing masing masing jarak kincir ditunjukkan pada Gambar 17 hingga Gambar 19. Gambar 17 menunjukkan hasil meshing untuk kincir air dengan jarak 1160 mm, Gambar 18 menunjukkan hasil meshing untuk kincir air seri dengan jarak 3160 mm sedangkan Gambar 19 menunjukkan hasil meshing untuk kincir air seri dengan jarak 3160. Besarnya gambar berbeda karena untuk menampilkan keseluruhan bagian meshing.



Gambar 17 Hasil meshing kincir air 1160 mm



Gambar 18 Hasil meshing kincir air



Gambar 19 Hasil meshing kincir air

Cell Zone Condition

Dalam simulasi atau analisis fluida, "domain" merujuk pada ruang tiga dimensi di mana aliran fluida dianalisis. Dalam konteks ini, "domain fluida" merujuk pada ruang di mana aliran fluida, seperti air dan udara, dipertimbangkan. Penggunaan material air dan udara dengan metode campuran menunjukkan bahwa simulasi ini memperhitungkan campuran kedua fluida tersebut dalam analisisnya.

"Cell zone silinder" merujuk pada zona di dalam domain fluida yang berisi objek silinder, seperti turbin atau objek lain yang berputar. Pada bagian ini, gerakan mesh diterapkan untuk memperhitungkan efek rotasi dari turbin. "Mesh motion" adalah teknik di mana mesh, atau jaringan titik-titik yang membentuk grid di dalam domain, diatur untuk mengikuti pergerakan objek atau aliran fluida. Dalam konteks ini, mesh motion digunakan untuk memasukkan efek rotasi dari turbin ke dalam simulasi. Dengan demikian, pernyataan tersebut menjelaskan bagaimana simulasi ini mempertimbangkan penggunaan campuran air dan udara dalam domain fluida, serta bagaimana efek rotasi dari turbin diperhitungkan melalui pengaturan mesh motion pada zona sel silinder. Hal ini penting untuk memastikan bahwa simulasi menghasilkan

hasil yang akurat dan dapat diandalkan dalam memodelkan aliran fluida di sekitar turbin atau objek berputar lainnya.

Boundary Conditions

Berikut adalah input-input yang digunakan pada boundary conditions:

- Gravitasi digunakan untuk menimbulkan efek aliran dan gelombang yang digunakan.
- Wall Fluid domain: Pada dinding-dinding fluid domain didefinisikan sebagai wall dengan no slip condition untuk merepresentasikan gesekan antara fluida dengan dinding.
- Inlet: Menggunakan velocity-inlet dengan kecepatan sesuai variasi pada air dan 0 m/s pada udara.
- Outlet: Menggunakan pressure-outlet dengan gauge pressure 0 Pa

Pengaturan lain yang tidak diinformasikan disini mengacu pada pengaturan bawaan yang sudah direkomendasikan untuk memperoleh solusi numerik yang konservatif.

BAB VII

SALURAN TERBUKA BUATAN

Penelitian kincir air seri dilaksanakan menggunakan saluran terbuka buatan sebagaimana di tampilkan pada Gambar 19



Gambar 20 Saluran terbuka tempat pengujian kincir seri

Ketinggian air pada saluran terbuka sangat dipengaruhi oleh rintangan yang harus dilalui dan dalam penelitian ini hambatan tersebut adalah kincir air sehingga ketinggian air

naik sebelum masuk ke dalam kincir air. Ketinggian air dan kecepatan air dalam saluran irigasi diukur pada pintu masuk kincir (h_1 dan v_1) dan keluar kincir (h_2 dan v_2). Hasilnya diberikan pada Tabel 2 dan 3.

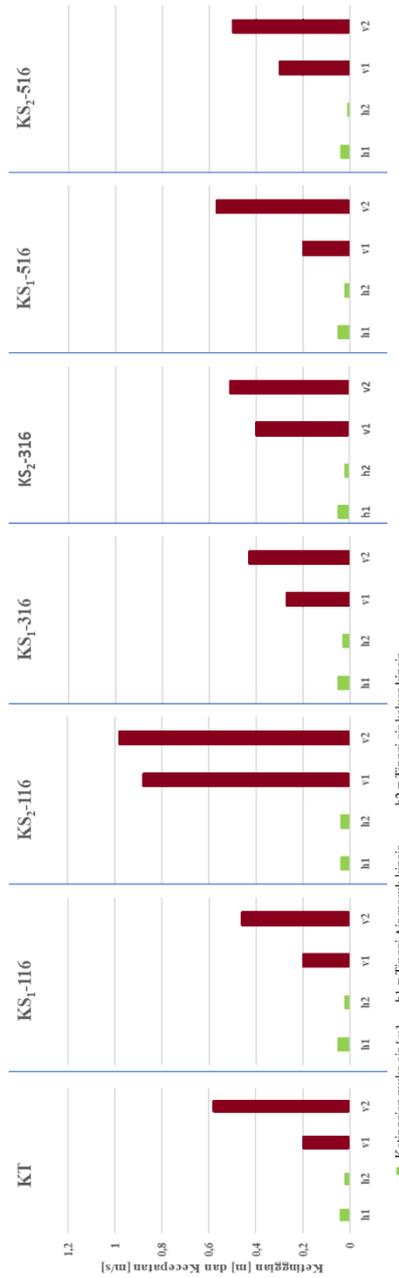
Tabel 2 Tinggi permukaan air
KT, KS-116, KS-316, KS-516. h_1 =tinggi muka air masuk kincir, h_2 = tinggi muka air keluar kincir

Q	KT		KS ₁ -116		KS ₂ -116		KS ₁ -316		KS ₂ -316		KS ₁ -516		KS ₂ -516	
	h_1	h_2	h_1	h_2	h_1	h_2	h_1	h_2	h_1	h_2	h_1	h_2	h_1	h_2
20	0,04	0,02	0,05	0,02	0,02	0,02	0,05	0,03	0,05	0,02	0,05	0,02	0,04	0,01
30	0,05	0,01	0,06	0,02	0,02	0,02	0,05	0,03	0,06	0,03	0,06	0,03	0,05	0,02
60	0,07	0,02	0,09	0,03	0,03	0,02	0,07	0,04	0,09	0,05	0,09	0,05	0,07	0,02
90	0,07	0,02	0,12	0,04	0,04	0,03	0,08	0,06	0,11	0,07	0,11	0,07	0,10	0,04
120	0,09	0,02	0,14	0,05	0,05	0,03	0,10	0,07	0,12	0,08	0,12	0,08	0,10	0,04

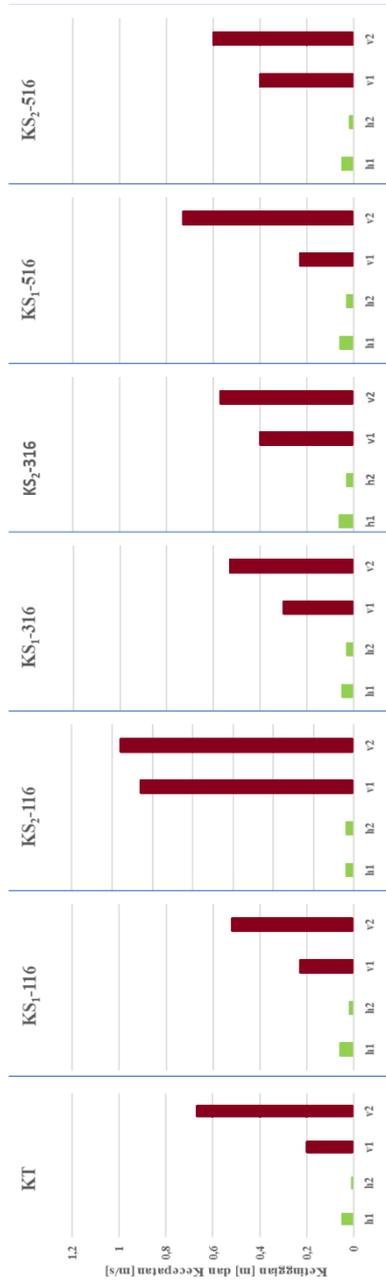
Hasil yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan 3 merupakan hasil pengukuran ketinggian air dan kecepatan air masuk dan keluar kincir untuk kincir tunggal dan kincir seri. Untuk memudahkan dalam analisis hasil tersebut, maka data ketinggian dan kecepatan aliran pada Tabel 2 dan Tabel 3 di bandingkan secara grafis untuk setiap variasi debit dan ditampilkan pada Gambar 21 hingga Gambar 25.

Hasil yang ditunjukkan pada Tabel 2 dan 3 merupakan hasil pengukuran ketinggian air dan kecepatan air masuk dan keluar kincir untuk kincir tunggal dan kincir seri. Untuk memudahkan dalam analisis hasil tersebut, maka data ketinggian dan kecepatan aliran pada Tabel 2 dan Tabel 3 di bandingkan secara grafis untuk setiap variasi debit dan ditampilkan pada Gambar 21 hingga Gambar 25

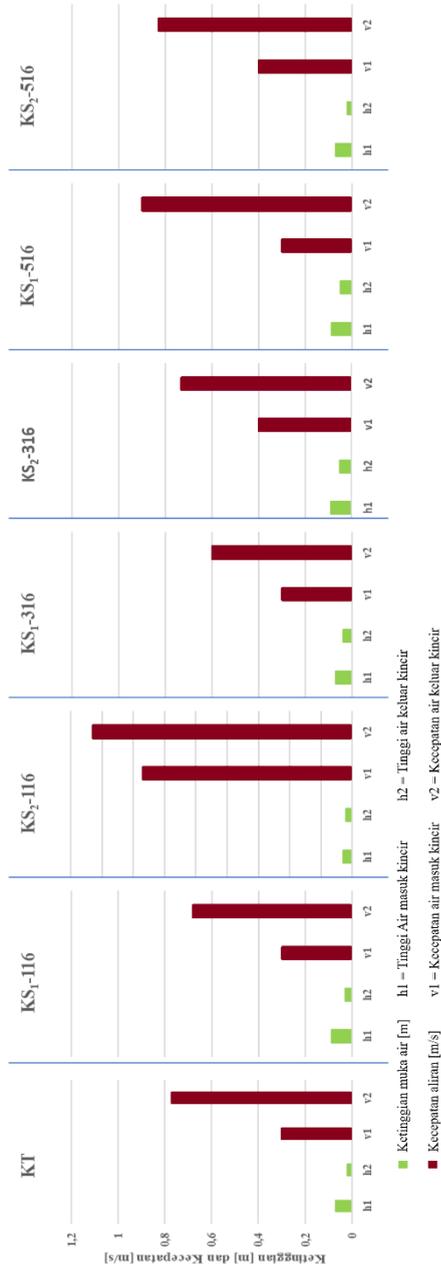
dan hasil simulasi menggunakan CFD pada Gambar 26 hingga Gambar 28. Perbandingan nilai ketinggian air dan kecepatan yang masuk dan keluar kincir untuk KT, KS-116, KS-316, dan KS-516 untuk setiap debit sedangkan simulasi pada ke 3 variasi kincir seri di debit $120 \text{ m}^3/\text{jam}$.



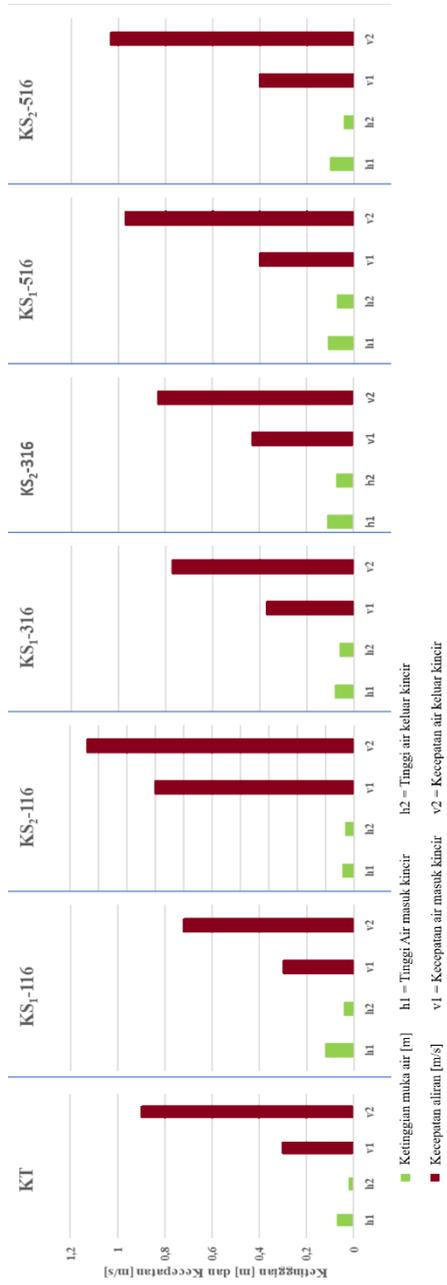
Gambar 21 Perbandingan ketinggian dan kecepatan air pada debit 20 m³/jam



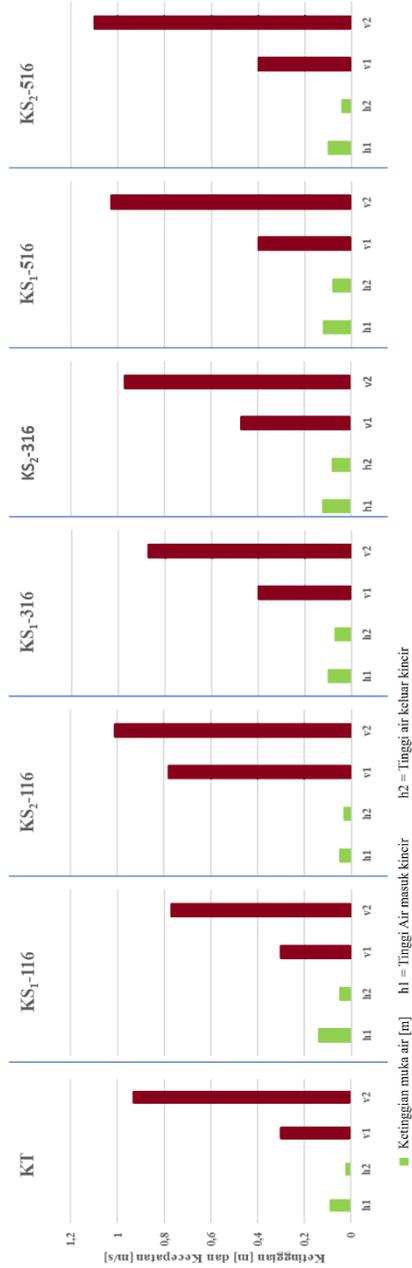
Gambar 22 Perbandingan ketinggian dan kecepatan air pada debit 30 m³/jam



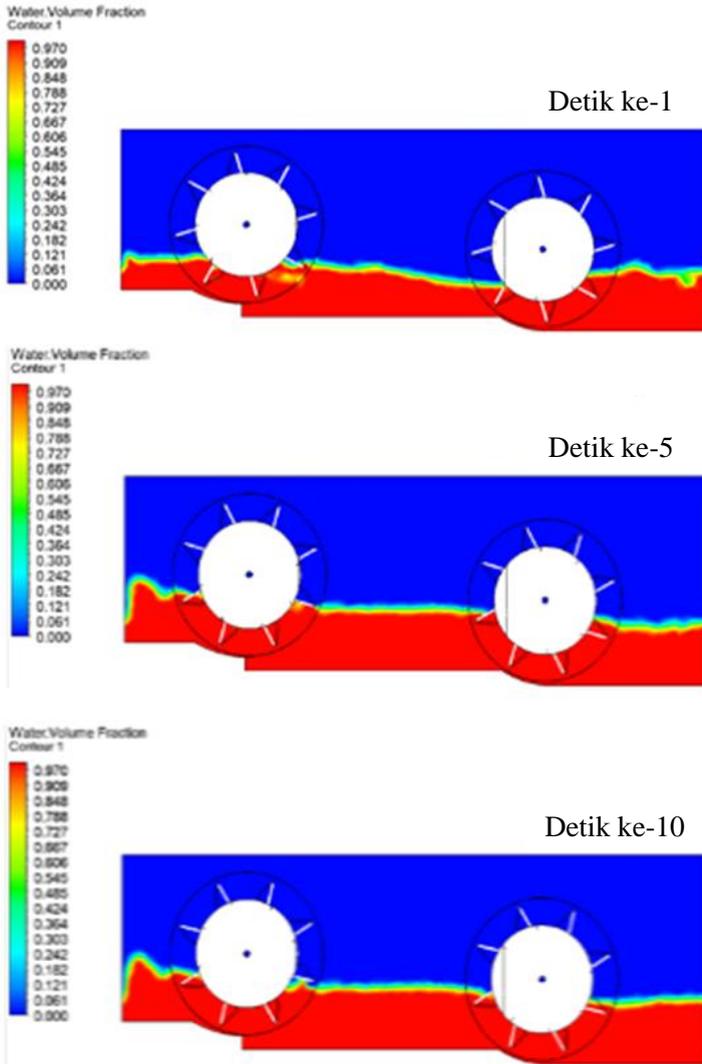
Gambar 23 Perbandingan ketinggian dan kecepatan air pada debit 60 m³/jam



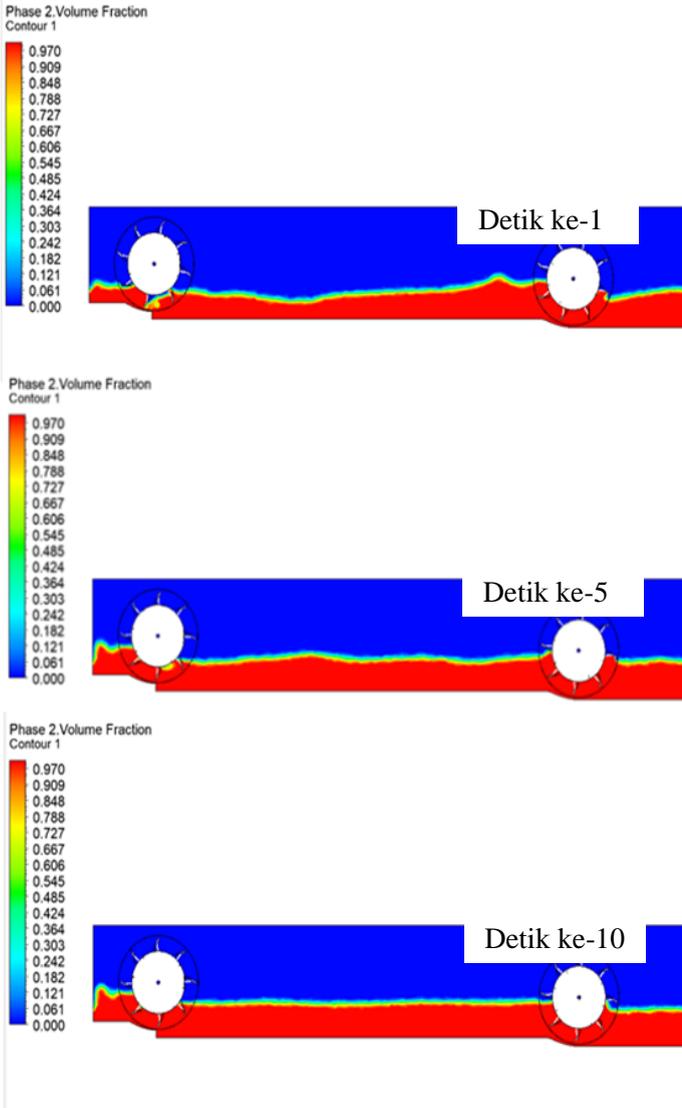
Gambar 24 Perbandingan ketinggian dan kecepatan air pada debit 90 m³/jam



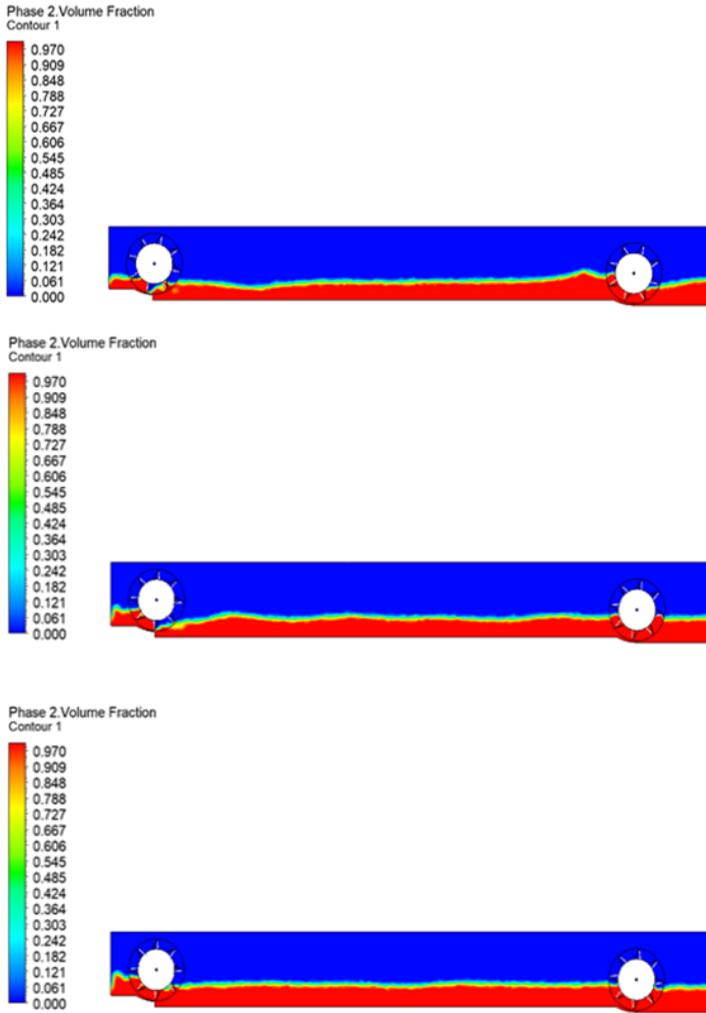
Gambar 25 Perbandingan ketinggian dan kecepatan air pada debit 120 m³/jam



Gambar 26 Simulasi Kincir KS-116



Gambar 27 Simulasi Kincir KS-316



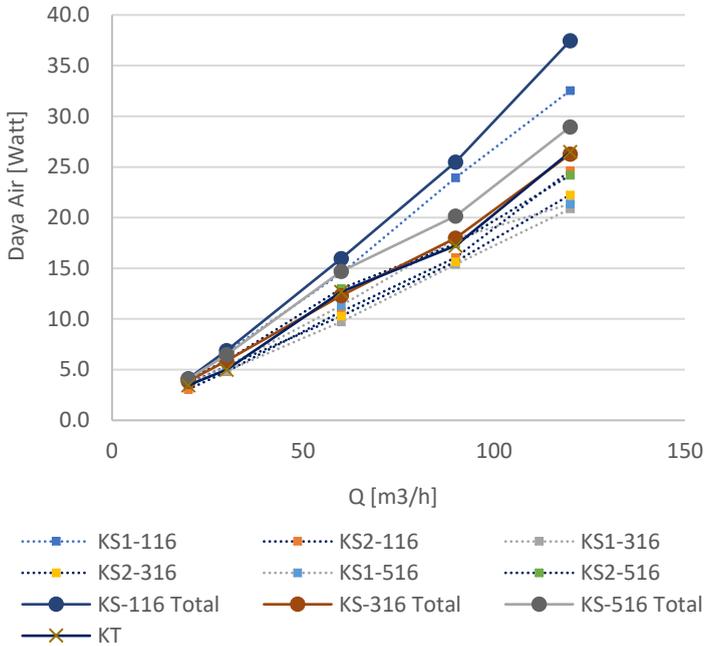
Gambar 28 Simulasi Kincir KS-516

Tampak bahwa ketinggian dan kecepatan aliran air semakin bertambah seiring dengan penambahan debit, terutama pada KT dan KS₁. Selain itu, juga dapat dilihat bahwa ketinggian air antara hasil eksperimen sejalan dengan simulasi menggunakan CFD. Perbandingan antara hasil eksperimen dan simulasi menggunakan CFD menegaskan kesesuaian pada tingkat ketinggian air, memvalidasi model simulasi yang digunakan dalam penelitian ini.

Pada debit 120 m³/jam, ketinggian air h₁ KT mencapai 0,09 m, sedangkan h₂ KT hanya mencapai 0,02 m. Hal ini terjadi karena sebelum masuk ke dalam kincir, air terhalang oleh kincir dengan perbandingan penyumbatan sebesar 0,81 sehingga menyebabkan kenaikan muka air dan penurunan kecepatan air. Ketinggian air juga meningkat pada saat masuk kincir pertama untuk KS-116, KS-316, dan KS-516, namun berbeda dengan KT yang ketinggian air keluar kincir turunnya cukup rendah, ketinggian air tertahan oleh kincir kedua (KS₂) sehingga menyebabkan penurunan yang lebih kecil. Untuk KS-116, ketinggian air setelah keluar kincir pertama sama dengan saat masuk kincir kedua. Pasalnya, untuk KS-116 jarak kincir pertama dan kedua hanya 116 cm; dengan demikian, air yang keluar dari kincir pertama segera terhalang oleh kincir kedua

meskipun kecepatan air setelah keluar dari kincir meningkat karena perbedaan head dan aliran menjadi superkritis (Froude number 2.064–2.147).

Untuk KS-316 dan KS-516, ketinggian air yang masuk ke kincir pertama tidak setinggi KS-116, namun kecepatan keluarnya lebih tinggi. Ketinggian air yang masuk ke kincir kedua bertambah karena adanya rintangan. Untuk KS-316 dan KS-516, ketinggian air yang masuk ke kincir pertama tidak setinggi KS-116, namun kecepatan keluar kincir lebih tinggi dan membentuk aliran superkritis (froude number 1.001–1.148) yang kemudian berubah menjadi aliran subkritis saat mendekati kincir kedua. Hal ini disebabkan karena air tertahan oleh kincir kedua, namun karena bertambahnya kecepatan saat keluar dari kincir pertama, terjadi peningkatan kembali tinggi muka air di pintu masuk kincir kedua. Oleh karena itu, daya air (P_w) meningkat seiring dengan peningkatan debit, seperti ditunjukkan pada Gambar 29.

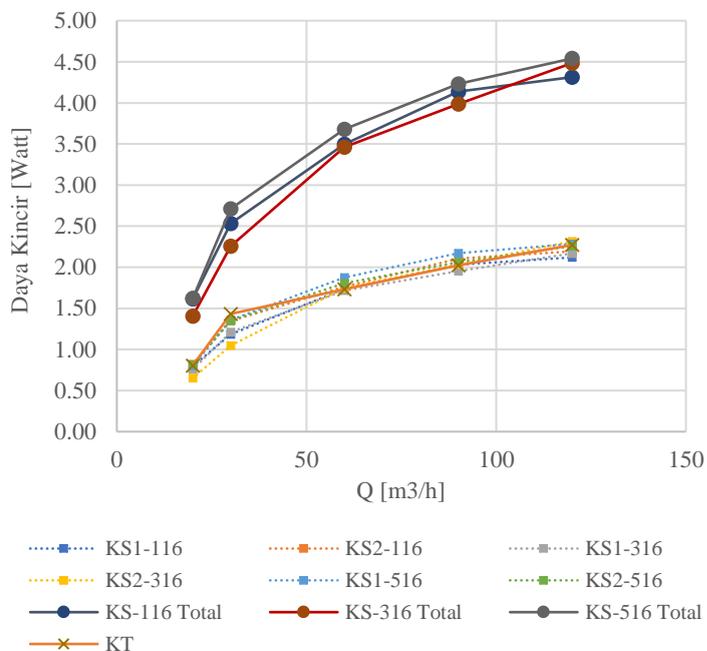


Gambar 29 Daya air total KT, KS-116, KS-316 dan KS-516

Gambar 29 menunjukkan bahwa daya air meningkat seiring dengan meningkatnya aliran air. Seperti disebutkan sebelumnya, karena kincir air menahan aliran air, maka ketinggian air pun bertambah. Peningkatan muka air menyebabkan head meningkat, sehingga pada akhirnya menyebabkan peningkatan daya air. Pengukuran total daya air KT, KS-316, dan KS-516 memiliki besaran dan kemiringan yang hampir sama—hanya saja KS-116 memiliki total daya yang lebih tinggi. Sebab, air yang

masuk ke kincir air pertama KS-116 juga tertahan oleh kincir kedua, karena jarak kedua kincir hanya 116 cm sehingga menambah head air total. Sedangkan tenaga kincir air mempunyai pola yang berbeda-beda seperti terlihat pada Gambar 30.

Kekuatan kincir air, baik kincir tunggal maupun kincir seri,

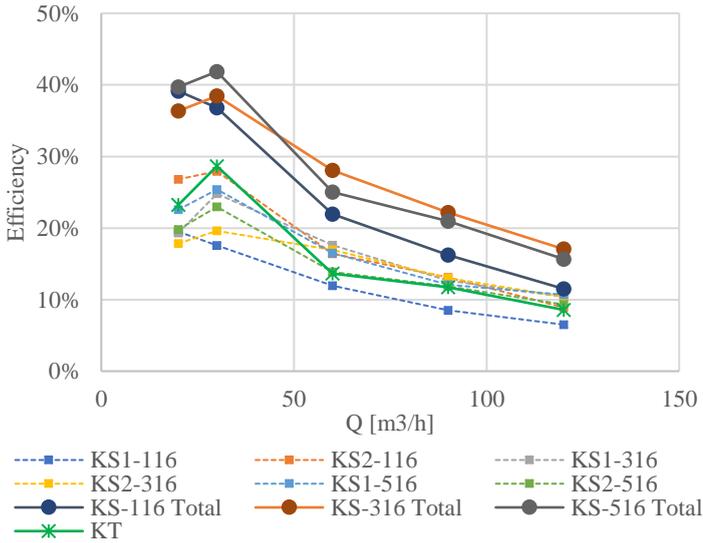


Gambar 30 Daya air total KT, KS-116, KS-316 dan KS-516

meningkat seiring dengan bertambahnya debit, namun peningkatan tersebut tidak sebesar peningkatan tenaga air. Selanjutnya daya yang dimiliki kincir air cenderung stagnan diatas debit aliran 90 m3/jam sehingga daya yang dihasilkan kincir air cenderung sama dengan daya yang

dimiliki kincir air pada debit 120 m³/jam. Hal ini diamati pada KT, KS-116, KS-316, dan KS-516. Kekuatan masing-masing kincir air, baik kincir tunggal maupun kincir seri, tidak jauh berbeda. Karena setiap kincir air menghasilkan tenaga, maka total tenaga kincir air merupakan akumulasi tenaga kincir pertama dan kedua. Dibandingkan dengan turbin KT, total daya yang dihasilkan kincir air seri ini adalah 1,92 - 2,15 kali untuk KS-116, 1,59 - 2,03 kali untuk KS-316, dan 1,71 - 2,09 kali untuk KS-516. Oleh karena itu,

efisiensi kincir air seri jauh lebih tinggi dibandingkan dengan KT, seperti ditunjukkan pada Gambar 31.



Gambar 31 Efisiensi Kincir KT, KS-116, KS-316 dan KS-516

Gambar 31 menunjukkan efisiensi kincir KT, KS-116, KS-316, dan KS-516 – baik secara individual untuk setiap kincir maupun secara total. Terlihat bahwa efisiensi masing-masing kincir dan efisiensi total kincir seri mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya laju aliran. Terlihat juga bahwa efisiensi tertinggi untuk semua kincir terjadi pada debit 30 m³/jam. Efisiensi total tertinggi diantara ketiga seri kincir air terdapat pada KS-516, karena

total daya yang dihasilkan KS-516 rata-rata lebih besar 0,24 watt dibandingkan KS-316 meskipun total daya air KS-516 lebih tinggi dibandingkan KS -316. Temuan ini memberikan pemahaman lebih lanjut tentang karakteristik kincir air seri dalam berbagai kondisi aliran air, dan menyoroti pentingnya pemilihan jarak kincir yang tepat untuk meningkatkan efisiensi secara keseluruhan dalam pemanfaatan energi air.

BAB VIII

MANFAAT

RANGKAIAN KINCIR AIR

Dalam kesimpulannya, hasil penelitian menegaskan bahwa energi yang terdapat dalam aliran air pada saluran irigasi dapat efektif dimanfaatkan melalui penggunaan rangkaian kincir air. Temuan menunjukkan bahwa kincir air dengan jarak 5160 mm mencapai efisiensi tertinggi sebesar 42% pada debit aliran 30 m³/jam. Lebih lanjut, penggunaan kincir air seri pada saluran irigasi diharapkan dapat meningkatkan produksi daya listrik secara signifikan karena memungkinkan pemanfaatan energi air secara lebih optimal. Hal ini menegaskan potensi besar dari teknologi kincir air dalam memanfaatkan sumber daya alam yang tersedia untuk keperluan energi berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adanta, Dendy., Fattah, Rizwanul., & Muhammad, N. Muaz. (2020). COMPARISON OF STANDARD k- ϵ AND SST k- ω TURBULENCE MODEL FOR.pdf. *Mechanical Science and Engineering*, 7(2), 39–44.
- Ahmed, A. A., Assadi, M., Kalantar, A., Sliwa, T., & Sapińska-śliwa, A. (2022). A Critical Review on the Use of Shallow Geothermal Energy Systems for Heating and Cooling Purposes. *Energies*, 15(12), 1–23. <https://doi.org/10.3390/en15124281>
- Asral, Huda, F., & Akbar, M. (2019). Two water wheels performance in series for empowerment of irrigation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 539(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/539/1/012025>
- Bahaj, A. S., Molland, A. F., Chaplin, J. R., & Batten, W. M. J. (2007). Power and thrust measurements of marine current turbines under various hydrodynamic flow conditions in a cavitation tunnel and a towing tank. *Renewable Energy*, 32(3), 407–426. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2006.01.012>
- Balduzzi, F., Bianchini, A., Maleci, R., Ferrara, G., & Ferrari, L. (2016). Critical issues in the CFD simulation of Darrieus wind turbines. *Renewable Energy*, 85, 419–435. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.048>
- Balkhair, K. S., & Rahman, K. U. (2017). Sustainable and economical small-scale and low-head hydropower generation: A promising alternative potential solution for

- energy generation at local and regional scale. *Applied Energy*, *188*, 378–391. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.12.012>
- Bozorgi, A., Javidpour, E., Riasi, A., & Nourbakhsh, A. (2013). Numerical and experimental study of using axial pump as turbine in Pico hydropower plants. *Renewable Energy*, *53*, 258–264. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.11.016>
- Butera, I., & Balestra, R. (2015). Estimation of the hydropower potential of irrigation networks. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 48, pp. 140–151). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.03.046>
- Choudhury, S., Parida, A., Pant, R. M., & Chatterjee, S. (2019). GIS augmented computational intelligence technique for rural cluster electrification through prioritized site selection of micro-hydro power generation system. *Renewable Energy*, *142*, 487–496. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.125>
- Effendy. (2012). Irrigation Channel Design (in Indonesia). *Pilar Jurnal Teknik Sipil Volume 7 NO.2 September 2012*, *7*(2), 1–8.
- El-Sebaey, M. S., Ellman, A., Hegazy, A., & Ghonim, T. (2020). Experimental analysis and CFD modeling for conventional basin-type solar still. *Energies*, *13*(21). <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/en13215734>
- Esler, J. G., Rump, O. J., & Johnson, E. R. (2005). Steady rotating flows over a ridge. *Physics of Fluids*, *17*(11), 1–15. <https://doi.org/10.1063/1.2130740>
- Gerald Mueller, K. K. (2004). Performance characteristics of waterwheels. *Journal of Hydraulic Research*, *42*(5), 451–460.
- Gnanavel, C., Saravanan, R., & Chandrasekaran, M. (2020). CFD analysis of solar still with PCM. *Materials Today*:

Proceedings, 37(Part 2), 694–700.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.05.638>

- Güney, M. S., & Kaygusuz, K. (2010). Hydrokinetic energy conversion systems: A technology status review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 2996–3004. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.06.016>
- Hamad, A., Aftab, S. M. A., & Ahmad, K. A. (2018). Reducing flow separation in T-junction pipe using Vortex Generator: CFD study. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 44(1), 36–46.
- Harlan, T. (2018). Rural utility to low-carbon industry: Small hydropower and the industrialization of renewable energy in China. *Geoforum*, 95(May 2017), 59–69. <https://doi.org/10.1016/j.geoforum.2018.06.025>
- Im, H., & Kim, B. (2022). Power Performance Analysis Based on Savonius Wind Turbine Blade Design and Layout Optimization through Rotor Wake Flow Analysis. *Energies*, 15(24). <https://doi.org/10.3390/en15249500>
- Junaidi, F. F. (2014). Analisis distribusi kecepatan aliran sungai musi. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 2(3), 542–552.
- Kabeyi, M. J. B., & Olanrewaju, O. A. (2022). Biogas Production and Applications in the Sustainable Energy Transition. *Journal of Energy*, 2022, 1–43. <https://doi.org/10.1155/2022/8750221>
- Kadier, A., Kalil, M. S., Pudukudy, M., Hasan, H. A., Mohamed, A., & Hamid, A. A. (2018). Pico hydropower (PHP) development in Malaysia: Potential, present status, barriers and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(June 2017), 2796–2805. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.06.084>

- Khare, V. R., Singh, A. P., Kumar, H., & Khatri, R. (2017). Modelling and Performance Enhancement of Single Slope Solar Still Using CFD. *Energy Procedia*, *109*, 447–455. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.064>
- Klar, R., Steidl, B., & Aufleger, M. (2018). A floating energy storage system based on fabric. *Ocean Engineering*, *165*(July), 328–335. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2018.07.051>
- Koç, C. (2018). A study on operation problems of hydropower plants integrated with irrigation schemes operated in Turkey. *International Journal of Green Energy*, *15*(2), 129–135. <https://doi.org/10.1080/15435075.2018.1427591>
- Kolšek, T., Duhovnik, J., & Bergant, A. (2006). Simulation of unsteady flow and runner rotation during shut-down of an axial water turbine. *Journal of Hydraulic Research*, *44*(1), 129–137. <https://doi.org/10.1080/00221686.2006.9521668>
- Looney, B. (2020). Statistical Review of World Energy, 2020 | 69th Edition. In *Bp* (Vol. 69). <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>
- Lubis, A. (2007). Renewable Energy in Sustainable Development (in Indonesia). *Jurnal Badan Pengkajian Dan Penerapan Teknologi*, *Vol. 8*(2), 155–162.
- Monsalve-Cifuentes, O. D., Graciano-Uribe, J., & Zuluaga, D. A. H. (2021). Numerical Simulation of a Propeller-Type Turbine for In-Pipe Installation. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, *83*(1), 1–16. <https://doi.org/10.37934/arfmts.83.1.116>

- Mugisidi, D., Fauzi, I. N., Heriyani, O., Djeli, Y., Aidhilhan, E., & Gunawan, P. H. (2022). Development of the Dethridge Wheel Blade Shape for Hydropower Generation in Irrigation Canals in Indonesia. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, *98*(2), 146–156. <https://doi.org/10.37934/arfmts.98.2.146156>
- Mugisidi, D., Heriyani, O., Rizal, A. L., & Ramdani. (2018). Utilization Of The Dethridge Wheel As A Low Head Power. *The 2nd International Mechanical and Industrial Engineering Conference (IMIEC) 2018*.
- Müller, G. (1983). *Water Wheels As a Power Source*. 1–9.
- Nadgire, A. R., Barve, S. B., & Ithape, P. K. (2020). Experimental Investigation and Performance Analysis of Double-Basin Solar Still Using CFD Techniques. *Journal of The Institution of Engineers (India): Series C*, *101*(3), 531–539. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s40032-020-00561-y>
- Ngowi, J. M., Bångens, L., & Ahlgren, E. O. (2019). Benefits and challenges to productive use of off-grid rural electrification: The case of mini-hydropower in Bulongwa-Tanzania. *Energy for Sustainable Development*, *53*, 97–103. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2019.10.001>
- Paudel, S., & Saenger, N. (2016a). Dethridge wheel for pico-scale hydropower generation: An experimental and numerical study. *Earth Environ. Sci*, *49*(4). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/49/10/102007>
- Paudel, S., & Saenger, N. (2016b). Dethridge wheel for pico-scale hydropower generation: An experimental and numerical study. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *49*(10). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/49/10/102007>

- Paudel, S., & Saenger, N. (2017). Effect of channel geometry on the performance of the Dethridge water wheel. *Renewable Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.08.043>
- Paudel, S., Weber, M., Geyer, D., & Saenger, N. (2017a). Zuppinger Water Wheel for Very Low-Head Hydropower Application. *Marine and Hydro Power*, July, 25–34. <https://doi.org/10.18690/978-961-286-055-4.3>
- Paudel, S., Weber, M., Geyer, D., & Saenger, N. (2017b). *Zuppinger Water Wheel for Very Low-Head Hydropower Application*. July, 25–34. <https://doi.org/10.18690/978-961-286-055-4.3>
- Pienika, R., Usera, G., & Ramos, H. M. (2020). Simulation of a hydrostatic pressure machine with caffa3d solver: Numerical model characterization and evaluation. *Water (Switzerland)*, 12(9). <https://doi.org/10.3390/w12092419>
- Pratomo, H. B. (2018). *Tahun ini, pemerintah bangun 5.000 proyek irigasi nasional | merdeka.com*. Merdeka.Com. <https://www.merdeka.com/uang/tahun-ini-pemerintah-bangun-5000-proyek-irigasi-nasional.html>
- Quaranta, E., & Müller, G. (2019). Optimization of undershot water wheels in very low and variable flow rate applications. *Journal of Hydraulic Research*, 1686. <https://doi.org/10.1080/00221686.2019.1671508>
- Quaranta, E., & Revelli, R. (2016). Optimization of breastshot water wheels performance using different inflow configurations. *Renewable Energy*, 97, 243–251. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.05.078>
- Rafae Alomar, O., Maher Abd, H., Mohamed Salih, M. M., & Aziz Ali, F. (2022). Performance analysis of Pelton turbine under different operating conditions: An experimental study. *Ain Shams Engineering Journal*, 13(4). <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.101684>

- Scheaua, F. D. (2021). An alternative for wind energy conversion using improved Savonius rotor turbine model. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1182(1), 012069. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1182/1/012069>
- Shoeibi, S., Rahbar, N., Esfahlani, A. A., & Kargarsharifabad, H. (2021). Energy matrices, exergoeconomic and enviroeconomic analysis of air-cooled and water-cooled solar still: Experimental investigation and numerical simulation. *Renewable Energy*, 171, 227–244. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.081>
- Tevata, A., & Inprasit, C. (2011). The effect of paddle number and immersed radius ratio on water wheel performance. *Energy Procedia*, 9, 359–365. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.09.039>
- Tun, M. M., Juchelkova, D., Win, M. M., Thu, A. M., & Puchor, T. (2019). Biomass energy: An overview of biomass sources, energy potential, and management in Southeast Asian countries. *Resources*, 8(2). <https://doi.org/10.3390/resources8020081>
- Ueda, T., Goto, M., Namihira, A., & Hirose, Y. (2013). Review perspectives of small-scale hydropower generation using irrigation water in Japan. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 47(2), 135–140. <https://doi.org/10.6090/jarq.47.135>
- Wayanmundra¹, I., Roostrianawaty, N., & Adha², R. (2020). PENINGKATAN KINERJA SISTEM DRAINASE PERKOTAAN NGANJUK. *SONDIR*, 1.
- Widiawaty, C. D., Siswantara, A. I., Gunadi, G. G. R., Andira, M. A., Budiarmo, Budiyanto, M. A., Hilman Gumelar Syafei, M., & Adanta, D. (2022). Optimization of inverse-Prandtl of Dissipation in standard k-ε Turbulence Model for Predicting

Flow Field of Crossflow Turbine. *CFD Letters*, 14(1), 112–127. <https://doi.org/10.37934/cfdl.14.1.112127>

Williamson, S. J., Lubitz, W. D., Williams, A. A., Booker, J. D., & Butchers, J. P. (2019). Challenges Facing the Implementation of Pico-Hydropower Technologies. *Journal of Sustainability Research*, 2(1), 1–35. <https://doi.org/10.20900/jsr20200003>

Yani, A., Erianto, R., Teknik, J., Fakultas, M., Universitas, T., & Bontang, T. (2016). PENGARUH VARIASI BENTUK SUDU TERHADAP KINERJA TURBIN AIR KINETIK (Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Daerah Pedesaan). *TURBO*, 5(1), 8–13.

Yan, T., Xie, G., Liu, H., Wu, Z., & Sun, L. (2020). CFD investigation of vapor transportation in a tubular solar still operating under vacuum. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 156, 119917. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2020.119917>