

ANALISIS KONSEP PENERAPAN MEKANIKA DALAM SISTEM IRIGASI PERTANIAN BERBASIS TEKNOLOGI

Nuril Martha Anggraeni^{1*}, Linda Ayuningtiyas², Retno Enggar Kinasih³, Sudarti⁴, Firdha Kusuma Ayu Anggraeni⁵

^{1,2,3,4,5}Program studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jember. Indonesia

Corresponding Author: ohnuril26@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menyegarkan jaringan irigasi, meningkatkan efisiensi distribusi air, dan mengatasi dampak perubahan iklim. Metode penelitian yang digunakan adalah metode kualitatif dengan pendekatan studi literatur, di mana data dikumpulkan dari berbagai sumber seperti artikel jurnal, buku, laporan penelitian, dan dokumen lain yang relevan. Studi ini mengkaji berbagai teknologi irigasi, termasuk pompa sentrifugal, pompa piston, pompa diafragma, pompa submersible, dan alat penyiram putar, yang telah terbukti meningkatkan efisiensi sistem irigasi. Penerapan teknologi canggih seperti sensor, sistem kendali otomatis, dan tenaga surya memungkinkan sistem irigasi modern memantau dan menyesuaikan distribusi air secara real-time sesuai kebutuhan tanaman. Pengembangan sumber air melalui pompa tenaga surya dan pembangunan waduk juga berkontribusi signifikan dalam meningkatkan ketersediaan air dan mengatasi dampak perubahan iklim. Selain itu, pengembangan irigasi perpipaan berperan penting dalam menyediakan air pada lahan pertanian yang sulit dijangkau oleh sistem irigasi konvensional. Integrasi kecerdasan buatan dalam sistem irigasi masa depan memungkinkan pemantauan dan pengendalian irigasi yang lebih efisien dan efektif. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan dari prinsip mekanika dan teknologi yang canggih pada sistem irigasi pertanian dapat meningkatkan produktivitas, efisiensi penggunaan air, dan kelestarian lingkungan, sekaligus menurunkan biaya operasional.

Kata Kunci: *Irigasi, Mekanika, Teknologi*

ABSTRACT

This research aims to develop and refresh irrigation networks, improve water distribution efficiency, and address the impacts of climate change. The research method used is a qualitative method with a literature study approach, where data is collected from various sources such as journal articles, books, research reports, and other relevant documents. This study examines various irrigation technologies, including centrifugal pumps, piston pumps, diaphragm pumps, submersible pumps, and rotary sprinklers, which have been proven to improve the efficiency of irrigation systems. The application of advanced technologies such as sensors, automatic control systems and solar power enables modern irrigation systems to monitor and adjust water distribution in real-time according to crop needs. The development of water sources through solar pumps and the construction of reservoirs also contribute significantly to increasing water availability and addressing the impacts of climate change. In addition, the development of piped irrigation plays an important role in providing water to farmlands that are difficult to reach by conventional irrigation systems. The integration of

artificial intelligence in future irrigation systems enables more efficient and effective monitoring and control of irrigation. Overall, this research demonstrates that the application of mechanics principles and advanced technologies to agricultural irrigation systems can improve productivity, water use efficiency, and environmental sustainability, all at the same time.

Keywords: *Irrigation, Mechanics, Teknologi*

PENDAHULUAN

Menurut Pereira dkk (2021), menyatakan bahwa aliran terbuka adalah aliran yang memiliki jenis penampang terbuka sehingga zat cair kontras dengan permukaan yang terbuka sehubungan dengan tekanan atmosfer. Berdasarkan arti aslinya, sungai terbuka dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis yaitu sungai terbuka alami dan sungai terbuka buatan. Sungai terbuka alami memiliki karakteristik penampang yang tidak beraturan. Setiap komponennya unik dan memiliki kerasan yang berbeda. Alam contohnya aliran air terbuka di sungai. Sementara tubuh manusia memiliki struktur yang jelas dan ukuran yang relatif konstan, bagian penyusunnya dapat berupa beton, semen, atau baja (Hidayat et al., 2022).

Mekanika adalah cabang ilmu dari fisika yang mempelajari sebuah gerak dan gaya yang bekerja pada benda. Cabang ilmu ini mencakup studi tentang perilaku benda, baik yang diam maupun yang bergerak, serta interaksi antara benda-benda tersebut dengan gaya yang mempengaruhinya. Mekanika memiliki peran penting dalam berbagai aplikasi teknik, seperti perancangan struktur sebuah bangunan, kendaraan, dan mesin, serta dalam pemahaman fenomena alam seperti gerak planet dan dinamika atmosfer. Pengetahuan tentang mekanika memungkinkan kita untuk merancang dan menganalisis sebuah sistem yang kompleks, memastikan efisiensi dan keamanan dalam berbagai bidang teknologi dan industri.

Irigasi merupakan komponen penting dalam sistem pertanian modern, terutama di daerah yang memiliki curah hujan yang tidak terlalu tinggi atau panjang. Ketersediaan udara yang bersih dan terdistribusi dengan baik merupakan faktor kunci dalam keberhasilan produksi pertanian. Namun, banyak sistem irigasi tradisional yang masih menghadapi beberapa tantangan, seperti kualitas udara yang buruk, penggunaan udara yang tidak efisien, dan area irigasi yang semakin berkurang. Kemajuan teknologi telah memungkinkan untuk mengatasi masalah-masalah ini melalui penerapan prinsip-prinsip mekanika dalam sistem irigasi pertanian (Prabowo & Martini, 2023).

Beberapa permasalahan dalam penerapan mekanika pada sistem irigasi pertanian berbasis teknologi adalah kerusakan jaringan irigasi, keterbatasan sumber air, efisiensi energi yang rendah, biaya implementasi dan pemeliharaan yang tinggi, serta adaptasi teknologi oleh petani yang masih kurang. Penerapan mekanika dalam sistem irigasi biasanya mencakup desain dan pemilihan komponen yang tepat, seperti pompa, pipa, dan nozel, untuk memastikan aliran air yang optimal dengan kehilangan energi minimal. Pompa yang dirancang dengan prinsip mekanika dapat mengalirkan air dengan tekanan yang cukup ke seluruh area pertanian tanpa mengakibatkan konsumsi energi yang berlebihan. Sistem perpipaan yang efisien juga memainkan peran penting dalam mendistribusikan air dengan minim kebocoran dan hambatan. Seperti hukum Bernoulli, aliran laminar dan turbulen, serta prinsip tekanan dan kecepatan aliran, dapat diaplikasikan untuk mendesain sistem irigasi

yang lebih efisien dan efektif. Dengan mengintegrasikan teknologi seperti sensor, pompa, dan sistem kontrol otomatis, sistem irigasi air dapat dioptimalkan untuk meningkatkan distribusi air, mengurangi penggunaan air, dan mencakup area yang lebih luas (Desnanjaya et al., 2020).

Kemajuan teknologi telah memungkinkan untuk mengatasi kekurangan sistem irigasi tradisional. Dengan menerapkan prinsip-prinsip mekanika, sistem irigasi pertanian dapat berfungsi lebih efektif dan efisien. Sebagai contoh, distribusi udara ke wilayah yang lebih luas dapat ditingkatkan dengan menggunakan pompa udara yang dioperasikan berdasarkan hukum Bernoulli (Atthoriq et al., 2022). Selain itu, sistem control suhu otomatis dan sensor ketinggian air dapat membantu mengoptimalkan penggunaan air berdasarkan kebutuhan tanaman, sehingga mengurangi kehilangan air. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menyegarkan jaringan irigasi, meningkatkan efisiensi distribusi air, dan mengatasi dampak perubahan iklim. Melalui metode eksperimental, simulasi numerik, dan studi kasus, penelitian ini akan menganalisis desain, alur kerja, dan dampak dari teknologi robotik terintegrasi yang menganut prinsip mekanika (Narafidya et al., 2024). Berdasarkan pernyataan diatas dilakukanlah sebuah penelitian tentang pentingnya mekanika serta integrasi teknologi mukhahir dalam pengembangan sistem irigasi pertanian yang lebih efisien dan efektif.

METODE

Metode pada artikel ini menggunakan studi pustaka (*library research*) yaitu metode dengan pengumpulan data dengan cara memahami dan mempelajari teori-teori dari berbagai literatur yang berhubungan dengan penelitian tersebut. Ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian tersebut, seperti mengorganisasikan waktu dan membaca atau mencatat bahan penelitian. Menurut Adlini dkk (2022), Pengumpulan data tersebut menggunakan cara mencari sumber dan menkontruksi dari berbagai sumber contohnya seperti buku, jurnal dan risetriset yang sudah pernah dilakukan. Bahan pustaka yang didapat dari berbagai referensi tersebut dianalisis secara kritis dan harus mendalam agar dapat mendukung proposisi dan gagasannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fisika adalah cabang ilmu pengetahuan alam yang mempelajari fenomena alam dan perilakunya secara sistematis. Ilmu ini didasarkan pada metode ilmiah yang menghasilkan teori, konsep, dan hukum-hukum umum tentang alam. Konsep-konsep ilmiah yang terdapat pada materi pendidikan fisika selalu berkaitan dengan fenomena air yang merupakan fenomena sistematis yang sering diamati dalam kehidupan sehari-hari (Wibowo, 2021).

Menurut Jamil dkk (2022), mengatakan bahwa Salah satu aspek yang sangat penting dalam sistem pertanian adalah irigasi. Dalam upaya mendistribusikan air dengan efisien ke lahan pertanian, diperlukan pengembangan dan penyegaran jaringan irigasi. Ini termasuk ke dalam program-program seperti rehabilitasi jaringan irigasi, pengembangan sumber air melalui pompa, pembangunan embung, dan pengembangan irigasi perpipaan.

1. Rehabilitasi jaringan irigasi diperlukan karena kerusakan yang mungkin terjadi akibat berbagai faktor seperti usia bangunan, cuaca ekstrem, kebocoran, dan sampah. Penelitian di Padangkeling menunjukkan bahwa jaringan irigasi di daerah tersebut mengalami

kerusakan serius, menekankan pentingnya perbaikan berkala untuk menjaga fungsi dan keberlanjutan.

2. Pengembangan sumber air, termasuk penggunaan pompa tenaga surya, adalah strategi lain yang penting untuk memastikan pasokan air yang memadai. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan pompa tenaga surya meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman, sambil mengurangi biaya operasional dan dampak lingkungan.
3. Pembangunan embung adalah langkah proaktif untuk mengatasi dampak perubahan iklim terhadap pertanian. Pembangunan embung di Kabupaten Tumenggung, misalnya, telah terbukti efektif dalam mengatasi kekeringan dan meningkatkan produksi pertanian serta kesejahteraan petani.
4. Pengembangan irigasi perpipaan juga penting untuk meningkatkan ketersediaan air di lahan pertanian yang sulit dijangkau oleh sistem irigasi konvensional. Perencanaan yang cermat diperlukan dalam membangun sistem ini untuk memastikan efisiensi dan keberlanjutan dalam penggunaan air.

Penerapan Mekanika dalam irigasi banyak ditemukan terutama pada alat yang digunakan. Dari hasil studi literatur yang telah dilakukan menunjukkan bahwa penerapan teknologi dari mekanika pada sistem irigasi memiliki banyak hal terutama dalam hal pompa untuk mengalirkan air-air tersebut. Adapun beberapa alat yang dapat digunakan dalam tahap irigasi ini serta kaitannya dengan mekanika yaitu:

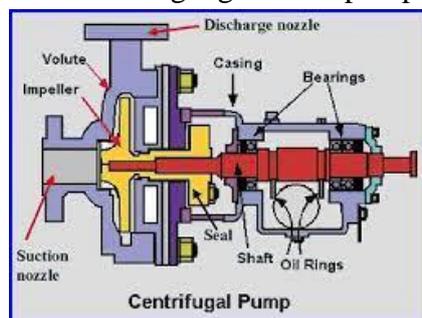
1. Pompa Sentrifugal (*Centrifugal Pump*)

Pompa sentrifugal adalah salah satu pompa yang umum digunakan dalam memenuhi kebutuhan yang digunakan untuk transportasi fluida, dimana kerja dari pompa tersebut tergantung dari sifat dan jenis fluida (Siregar & Damanik, 2020). Pompa sentrifugal merupakan jenis pompa non energi potensial dimana energi kecepatan yang dihasilkan berasal dari sebuah perubahan energi statis menjadi energi dinamis. Perubahan energi statis menjadi energi dinamis tersebut terjadi karena pengaruh putaran impeler pompa. Menurut Nouwen keuntungan-keuntungan yang dimiliki oleh pompa sentrifugal adalah sebagai berikut:

- 1) Harga pembelian lebih rendah, Dibandingkan jenis pompa lain yang menghasilkan aliran sama
- 2) Biaya pemeliharaan lebih rendah Karena Tidak banyak elemen pompa yang bergerak (tidak ada katup dan sebagainya)
- 3) Lebih sedikit memerlukan tempat
- 4) Jumlah putaran tinggi sehingga mampu memberikan penggerakan langsung pada sebuah elektromotor atau turbin
- 5) Getaran yang ditimbulkan sangat kecil sehingga fondasi dapat dibuat menjadi lebih ringan
- 6) Dapat mengalirkan sebuah zat cair yang mengandung kotoran
- 7) Aliran zat cair yang tak terputus

Disamping kelebihan yang telah disebutkan di atas, masalah yang muncul adalah apabila terjadi perbedaan ketinggian yang ekstrim di daerah dataran tinggi antara sumber air dengan tempat pengolahan ataupun tempat pemanfaatannya, karena pada pompa sentrifugal memiliki spesifikasi tertentu yang membatasi pada ketinggian berapa pompa

tersebut dapat bekerja maksimal. Spesifikasi yang dimaksud adalah head pompa. Pompa sentrifugal mempunyai konstruksi sedemikian rupa sehingga aliran zat cair yang keluar dari impeler akan melalui sebuah bidang tegak lurus pompa (Wahyudi, 2019).



Gambar 1. Pompa Sentrifugal

Persamaan dasar untuk pompa sentrifugal melibatkan hubungan antara daya hidrolis (P_h), head (H), aliran (Q), dan efisiensi (η):

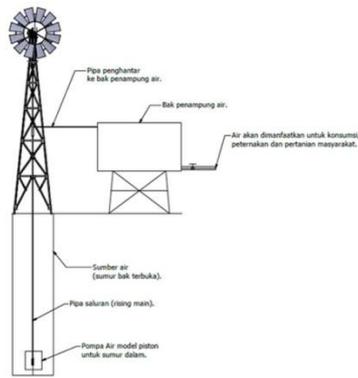
$$P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \frac{H}{\eta}$$

di mana (ρ) adalah densitas fluida, (g) adalah percepatan gravitasi, (Q) adalah laju aliran, dan (H) adalah head.

2. Pompa Piston

Pompa piston atau sering juga disebut dengan pompa reciprocating yang merupakan salah satu alat pompa air yang bergerak secara bolak-balik. Cara kerja dari pompa ini adalah membuat perbedaan tekanan pada bagian masuk dan bagian keluar. Pompa ini bekerja dengan gerakan bolak-balik piston dalam silinder. Ketika piston bergerak mundur, ruang di dalam silinder diperbesar, menciptakan vakum yang menarik air masuk melalui katup masuk. Ketika piston bergerak maju, air ditekan keluar melalui katup keluar. Terkadang pompa ini dikombinasikan dengan turbin angin, dengan prinsip kerja yaitu energi angin digunakan untuk memutar sudu turbin angin. Sudu dihubungkan dengan poros dan mekanisme engkol ditempatkan di ujung poros. Ketika sudu berputar secara otomatis mekanisme engkol juga akan berputar. Karena pengaturan eksentrik poros, gerakan putaran mekanisme engkol diubah menjadi gerakan linier yang diteruskan kepada batang piston pompa, sehingga proses pemompaan akan berlangsung secara terus menerus.

Pada pembuatan pompa piston yang digerakkan oleh turbin angin dengan bilah jamak, dimensi komponen pompa air piston sangat penting untuk mencapai kinerja optimal dari alat tersebut. Oleh karena itu, penelitian ini akan melibatkan proses pembuatan pompa air model piston yang dirancang secara seksama berdasarkan hasil perancangan menggunakan metode desain Pahl-Beitz. Metode ini memungkinkan perancangan yang lebih terstruktur dan efisien, sehingga diharapkan menghasilkan pompa yang mampu beroperasi dengan performa terbaik sesuai dengan kebutuhan (A. Hidayat & Aldrin, 2022).



(a)

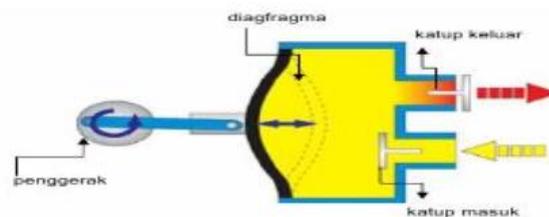


(b)

Gambar (2a). Gabungan pompa piston dan turbin angin, (2b). Pompa piston yang digunakan

3. Pompa Diafragma (Diafragma Pump)

Pompa diafragma juga merupakan jenis pompa perpindahan positif, di mana diafragma fleksibel digunakan untuk memindahkan air. pompa diafragma juga dapat diklasifikasikan sebagai pompa perpindahan positif, karena pompa diafragma bekerja sebagai piston kapasitas terbatas. Pompa diafragma dapat berfungsi ketika diafragma dipaksa masuk gerak secara bolak-balik dengan hubungan mekanis, udara terkompresi, atau fluida dari luar, berdenyut sumber. Konstruksi pompa menghilangkan kontak antara cairan yang dipompa dan sumber energi, kemudian menghilangkan adanya kemungkinan kebocoran yang berisiko saat menangani limbah beracun atau cairan yang sangat mahal. Dapat disimpulkan bahwa prinsip kerja pompa diafragma adalah maju-mundur untuk mengisap air dari sumber dan menghantarkannya ke tujuan (Efendi, 2022).



Gambar 3. Pompa Diafragma

Mirip dengan pompa piston, volume yang dipindahkan per siklus dapat dihitung dengan:

$$V = A \cdot d$$

di mana (A) adalah luas efektif dari diafragma dan (d) adalah defleksi maksimum dari diafragma.

4. Pompa Submersible (Submersible Pump)

Pompa submersible adalah perangkat yang dirancang untuk beroperasi di dalam air, sering digunakan dalam sistem irigasi untuk memompa air dari sumur dalam, kolam, atau sumber air bawah tanah. Mesin ini terendam sepenuhnya di dalam air, yang memberikan beberapa keuntungan unik dibandingkan jenis pompa lainnya. Pompa submersible bekerja dengan prinsip gaya sentrifugal atau perpindahan positif, tergantung pada desainnya. Pompa ini terdiri dari motor listrik yang terhubung ke impeller melalui poros. Ketika motor diaktifkan, impeller berputar dan menggerakkan air ke atas melalui pipa menuju

permukaan. Karena seluruh unit terendam dalam air, pompa ini tidak memerlukan priming seperti pompa permukaan, dan risiko kavitasi, yaitu pembentukan gelembung udara yang dapat merusak pompa, sangat berkurang. Kinerja pompa submersible biasanya dievaluasi dengan rumus efisiensi yang sama seperti pompa sentrifugal yaitu $P_h = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H / \eta$.



Gambar 4. Pompa Submersible

5. Sprinkler Rotari

Sprinkler rotari adalah perangkat irigasi yang dirancang untuk mendistribusikan air secara merata di area pertanian atau taman dengan menggunakan mekanisme rotasi. Sprinkler ini berfungsi dengan memanfaatkan tekanan air untuk memutar kepala sprinkler, sehingga air dapat tersebar dalam pola melingkar atau sektor tertentu, tergantung pada desain dan kebutuhan irigasi. Sprinkler rotari terdiri dari beberapa komponen utama: kepala sprinkler, nozzle, dan mekanisme rotasi. Air bertekanan masuk melalui pipa dan diteruskan ke kepala sprinkler, di mana nozzle mengarahkan aliran air. Tekanan air yang tinggi menyebabkan kepala sprinkler berputar, dan gaya sentrifugal memaksa air keluar melalui nozzle, menciptakan pola penyemprotan yang melingkar atau sektoral. Menurut Liu *et al*(2022), Alat penyiram putar umumnya digunakan dalam pola penyemprotan yang luas di berbagai sistem irigasi, bergantung pada jenis nosel, laju aliran, dan tekanan air. Kisaran tekanan kerja sprinkler yang luas memerlukan distribusi air yang seragam, peningkatan radius pembasahan, dan pengoperasian yang stabil pada tekanan rendah. Kecepatan rotasi kepala sprinkler sering kali diatur berdasarkan momentum dan gaya hidrolik yang diterapkan pada lengan sprinkler:

$$\tau = I \cdot \alpha$$

di mana (τ) adalah torsi, (I) adalah momen inersia, dan (α) adalah percepatan sudut.

Irigasi sprinkler adalah suatu metode pemberian air pada lahan yang akan diirigasi dengan menggunakan pipa yang bertekanan melalui nozzle. Dalam pemanfaatannya teknologi irigasi sprinkler ini sering dilakukan otomatis berbasis tenaga surya karna dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi dan dapat meminimalkan dampak terhadap

lingkungan hidup jika dibandingkan dengan operasi pompa berbahan bakar minyak serta dapat mengatasi masalah kebutuhan listrik (Sirait et al., 2020).

Implementasi fisika dalam konteks teknologi saat ini dan irigasi pertanian memberikan hasil yang lebih mendalam mengenai bagaimana prinsip-prinsip ilmiah diterapkan dalam praktik irigasi pertanian praktis dan pengembangan teknologi irigasi pertanian yang lebih efisien. Dalam upaya untuk meningkatkan produktivitas sekaligus mengurangi jumlah limbah yang dihasilkan, teknologi awal berfokus pada penggunaan barang-barang buatan sendiri dan pembelajaran mandiri. Kelembaban tanah dan kondisi cuaca adalah salah satu metode teknologi yang menonjol dari yang dirasakan di antara solusi irigasi masa depan, karena integrasi kecerdasan buatan yang memungkinkan pemantauan secara real-time (Fatani et al., 2021). Selain itu, memelihara sistem irigasi, memanfaatkan sumber energi terbarukan seperti tenaga surya, membangun tanggul, dan memodifikasi sistem irigasi perpipaan juga merupakan aspek penting untuk meningkatkan efisiensi penggunaan udara dan mencegah kegagalan sistem. Teknologi hidroponik juga memiliki peran penting dalam masyarakat modern dengan memberikan solusi bagi daerah dengan sumber daya air yang terbatas dan memungkinkan penggunaan udara dan nutrisi yang lebih efisien. Selain itu, penggunaan mikrokontroler seperti Arduino dalam sistem irigasi memungkinkan penyiraman otomatis yang lebih efisien, mirip dengan sistem kontrol sistem penyiraman otomatis berbasis Internet of Things. Dengan memahami dan menerapkan prinsip-prinsip ilmiah mendasar pada penelitian praktis dan kemajuan teknologi, kita dapat mengembangkan solusi yang lebih efektif dan tahan lama untuk mengatasi tantangan di masa mendatang (Puspita et al., 2023).

SIMPULAN

Penelitian ini menekankan pentingnya penerapan prinsip-prinsip mekanika dalam pengembangan sistem irigasi pertanian yang lebih efisien dan efektif. Mekanika memungkinkan perancangan sistem irigasi yang dapat mengoptimalkan distribusi air, mengurangi penggunaan energi, dan mengatasi tantangan irigasi tradisional. Teknologi seperti pompa sentrifugal, pompa piston, pompa diafragma, pompa submersible, dan sprinkler rotari telah terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi sistem irigasi. Dengan pemanfaatan teknologi canggih, seperti sensor, sistem kontrol otomatis, dan tenaga surya, sistem irigasi modern dapat memantau dan menyesuaikan distribusi air secara real-time, memastikan penggunaan air yang tepat sesuai dengan kebutuhan tanaman. Pengembangan sumber air melalui pompa tenaga surya dan pembangunan embung telah memberikan kontribusi signifikan dalam meningkatkan ketersediaan air dan mengatasi dampak perubahan iklim. Selain itu, pengembangan irigasi perpipaan juga memainkan peran penting dalam menyediakan air di lahan pertanian yang sulit dijangkau oleh sistem irigasi konvensional. Integrasi kecerdasan buatan dalam sistem irigasi masa depan memungkinkan pemantauan dan pengendalian irigasi secara lebih efisien dan efektif. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan prinsip-prinsip mekanika dan teknologi canggih dalam sistem irigasi pertanian tidak hanya meningkatkan produktivitas dan efisiensi penggunaan air tetapi juga mengurangi dampak lingkungan dan biaya operasional. Dengan memahami dan menerapkan konsep-konsep ilmiah ini, kita dapat mengembangkan solusi irigasi yang lebih

berkelanjutan dan inovatif untuk menghadapi tantangan pertanian di masa mendatang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya kepada dosen pengampu dan semua pihak yang telah memberikan saran, bimbingan serta dukungan dalam proses pembuatan jurnal artikel ini sehingga pembuatan jurnal ini dapat terselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Atthoriq, A., sumarjo, J., & Anjani, R. (2022). Perancangan System Pompa Air Tenaga Surya Terhadap Produktivitas Pertanian Padi (Sawah). *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 8(6), 81–87. <https://doi.org/DOI: 10.5281/zenodo.6420819>
- Desnanjaya, I., Sastrawan, I., & Pranata, I. (2020). Sistem Peringatan Ketinggian Air dan Kendali Temuku (Pintu Air) Untuk Irigasi Sawah. *JURNAL RESISTOR*, 3(1), 1–12. <https://bit.ly/jurnalresistor>
- Efendi, A. (2022). *Pompa & Kompresor*. Penerbi Andi. <https://books.google.co.id/books?id=Bu16EAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=id#v=onepage&q&f=false>
- Fatani, T., Zulkiflar, Z., & Safitri, N. (2021). Perancangan Prototype Pembangkit Energi Listrik Tenaga Piko Hidro Untuk Laboratorium Pembangkit Energi. *JURNAL TEKTR0*, 5(1), 93–99. <http://e-jurnal.pnl.ac.id/TEKTRO/article/viewFile/2802/2351>
- Hidayat, A., & Aldrin. (2022). Pembuatan Pompa Air Positive Displacement yang Digerakkan Oleh Turbin Angin. *Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics*, 7(2), 90–103. <http://e-journal.president.ac.id/presunivojs/index.php/JMEM/article/viewFile/3606/1291>
- Hidayat, R., Prihandono, T., & Sudarti, S. (2022). Inovasi Bahan Pembelajaran Fisika Materi Fluida Menggunakan Kajian Aliran Air Bendungan. *JINOTEP (Jurnal Inovasi Dan Teknologi Pembelajaran): Kajian Dan Riset Dalam Teknologi Pembelajaran*, 9(1), 80–89. <https://doi.org/10.17977/um031v9i12022p080>
- Jamil, A., Ali, M., Salman, D., Fahmid, I., & Chairunnisya, R. (2022). Irrigation Channel Development and Rejuvenation to Support Sustainable Agricultural Cultivation Systems in Indonesia. *Proceeding of International Conference o Applied SMART and GREEN INNOVATION*, 17–21. <https://www.researchgate.net/publication/375893480>
- Liu, J., Li, H., Zhang, Q., & Li, Y. (2022). Space flow channel design of rotary sprinkler and hydraulic performance experiments at low pressure. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 38(5), 65–71. <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2022.05.008>
- Narafidya, A., Sumarsono, J., Abdullah, S., & De Side, G. (2024). Aplikasi Sistem Irigasi Tetes Bawah Permukaan Untuk Tanaman Seledri (*Apium graveolens* L.) Menggunakan Selang Benang Pada Tanah Lempung Berpasir. *J-AGENT*, 2(1), 22–29. <https://journal.unram.ac.id/index.php/agent>
- Nina Adlini, M., Hanifa Dinda, A., Yulinda, S., Chotimah, O., & Julia Merliyana, S. (2022). *Metode Penelitian Kualitatif Studi Pustaka* (Vol. 6, Issue 1). <http://download.garuda.kemdikbud.go.id/article.php?article=2846813&val=13953&title=Metode%20Penelitian%20Kualitatif%20Studi%20Pustaka>
- Prabowo, Y., & Martini, M. (2023). Implementasi Pompa Hidram sebagai Irigasi Pertanian Ramah Lingkungan Di Desa Batu Retno Wonogiri. *Sebatik*, 27(1), 162–171. <https://doi.org/10.46984/sebatik.v27i1.2290>
- Puspita, T., Denny, Y., & Darmawan, I. (2023). Pres (Photovoltaic Renewable Energy Resources): Rancang Bangun Esp Berbasis Modul Surya 50 WP Pada Sistem

- Hidroponik DFT (Deep Flow Technique) Tiya Puspita Ilham Akbar Darmawan. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Tanaman (JURRIT)*, 2(1). <https://doi.org/10.55606/jurrit.v2i1.1770>
- Sirait, S., Santoso, D., & Egra, S. (2020). Teknologi Irigasi Otomatis Bertenaga Surya Di Kelompok Tani Cahaya Tani Kecamatan Tarakan Utara Kota Tarakan. *J-PEN Borneo : Jurnal Ilmu Pertanian*, 2(2), 60–67. <https://doi.org/10.35334/jpen.v2i3.1530>
- Siregar, M. A., & Damanik, W. S. (2020). Pengaruh Variasi Sudut Keluar Impeler Terhadap Performance Pompa Sentrifugal. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur Dan Energi*, 3(2), 166–174. <https://doi.org/10.30596/rmme.v3i2.5278>
- Wahyudi, D. (2019). Perbandingan Head dan Kapasitas Pompa Sentrifugal Tunggal dan Seri. *Djoko Wahyudi Jurnal ENERGY (Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Teknik)*, 9(1), 7–17. <https://doi.org/10.51747/energy>
- Wibowo, H. (2021). *Implementasi Prototype Pengairan Pertanian Bawang Merah dan Pencahayaan Otomatis Dari Hama Daun Bawang Berbasis Internet Of Things*. Politeknik Harapan Bersama Tegal.
- Yulianto, R. A., Azizah, S. Y. N. ., Rahmawati, N., Sudarti, S., & Prihandono, T. (2023). Potensi Teknologi Kejut Listrik Pada Pengolahan Pangan Agroindustri. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(1), 155-166. <https://doi.org/10.37478/optika.v7i1.2733>