

KONSEP STRATEGI ENERGI TERBARUKAN PADA PERENCANAAN EDUWISATAFILM-SINEMATIK DI WATU GAMBIR, KARANGPANDAN

Adam Maulana , Yosafat Winarto, Bambang Triratma

Prodi Arsitektur Fakultas Teknik Universitas Sebelas Maret Surakarta

Adammaulana123@student.uns.ac.id

Abstrak

Eduwisata film di Watu Gambir, Karangpandan merupakan sebuah wadah dimana masyarakat dapat melakukan kegiatan wisata dan secara tidak langsung mendapatkan pembelajaran terhadap perfilman dan sinematika. Eduwisata ini terletak di Karangpandan yang memiliki sumber daya alam yang sangat berlimpah. Karangpandan juga sudah memiliki kelompok perfilman dan sudah melakukan kolaborasi dengan ISI Surakarta dalam perfilman. Desain yang ramah lingkungan serta dapat menjunjung pembangunan yang berkelanjutan diperlukan dengan adanya sumber daya terbarukan ini. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menemukan sebuah konsep strategi energi yang dapat memanfaatkan energi terbarukan secara optimal yang dapat diterapkan pada eduwisata film di Karangpandan. Metode yang digunakan adalah metode mixed-method yang melingkupi identifikasi permasalahan, pengumpulan data, analisis data, dan perumusan konsep. Hasil dari penelitian ini adalah ditemukannya kinerja optimal dari panel fotovoltaik, hydroelectric, serta turbin angin apabila diterapkan di Karangpandan. Keseluruhan dari strategi energi yang optimal di Karangpandan ini dapat menghemat sekitar Rp150 Juta per tahunnya. Mayoritas dari penghematan tersebut diambil alih oleh panel fotovoltaik, lalu hydroelectric, dan terakhir turbin angin.

Kata kunci: *eduwisata, energi terbarukan, strategi energi, Watu Gambir.*

1. 1. PENDAHULUAN

Edutourism merupakan suatu bentuk daya tarik wisata dari sebuah ekowisata (wisata alam) yang berupaya dalam memperluas dan memperbanyak produk wisata alam (Ditjen PHKA, 2001). Anggita (2018) menjelaskan bahwa pengunjung dari eduwisata dapat berpartisipasi secara aktif dalam kegiatan yang berinteraksi langsung dengan lingkungan alam. Kegiatan tersebut dapat terkait dengan aspek budaya, sosial, sejarah, maupun alamiah, sesuai dengan tempat yang dikunjungi. Putri (2023) menjelaskan bahwa penerapan konsep eduwisata ini menawarkan pengalaman belajar melalui wisata edukasi yang memungkinkan interaksi secara langsung antara pengunjung dengan objek edukasi.

Wood (2002) diikuti oleh Suryokusumo dan Sujudwijono (2013) mengidentifikasi bahwa terdapat beberapa karakteristik sarana serta jasa dalam edutourism terutama dalam topik ekowisata. Pentingnya sarana dan jasa edutourism terletak pada upaya dalam melindungi lingkungan sekitar, baik lingkungan alam maupun budaya lokal. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan bangunan yang terintegrasi dengan bentuk, lansekap, dan warna lingkungan setempat. Penawaran program berkualitas dalam memberikan informasi yang relevan tentang pendidikan lingkungan alam dan budaya lokal kepada pengunjung juga perlu diperhatikan. Penyediaan proyek penelitian juga perlu dipertimbangkan dalam kontribusi pada kegiatan wisata edukasi. Dapat merespons kondisi alam dan selaras dengan lingkungan sekitar sangatlah penting dalam merancang sebuah rencana induk desain kawasan eduwisata.

Konsep yang dapat memberikan solusi inovatif dan progresif di tengah tantangan lingkungan yang semakin kompleks dibutuhkan dalam dunia arsitektur. Kesadaran akan kebutuhannya menjaga keberlanjutan dari planet ini pun harus turut diperhatikan. Arsitektur berkelanjutan merupakan peran

utama dalam membentuk masa depan yang lebih baik dengan prinsip-prinsipnya yang berfokus pada harmoni antara manusia, lingkungan, dan masyarakat.

Marie-Helene Contal dalam pengantar bukunya, *Sustainable Design 7*, yang dikutip pada website Realrich (2021), menyatakan bahwa saat ini tantangan yang sedang dihadapi menjadi semakin kompleks, dimana tantangan tersebut melingkupi krisis ekologis, pembangunan yang tidak berkelanjutan, masalah ekonomi, dan ketimpangan sosial. Contal menyoroti betapa pentingnya memberdayakan masyarakat sebagai suatu proses dimana kelompok yang menghadapi tantangan serupa memiliki kesadaran dan sumber daya untuk ikut serta secara aktif. Keberlanjutan menjadi masalah yang melibatkan kontribusi dari semua pihak terlibat.

Pembangunan berkelanjutan perlu mempertimbangkan segi sosial, ekonomi, dan lingkungan dalam membentuk space yang *livable* (nyaman), *viable* (berlanjut), dan *equitable* (adil). Dikutip dari buku *Arsitektur Berkelanjutan (Sustainable Architecture)* oleh Ardiani (2015), dikatakan bahwa terdapat sembilan prinsip dalam penerapan arsitektur berkelanjutan, yaitu ekologi, strategi energi, air, limbah, material, strategi ekonomi, komunitas lingkungan, pelestarian budaya, dan manajemen operasional.

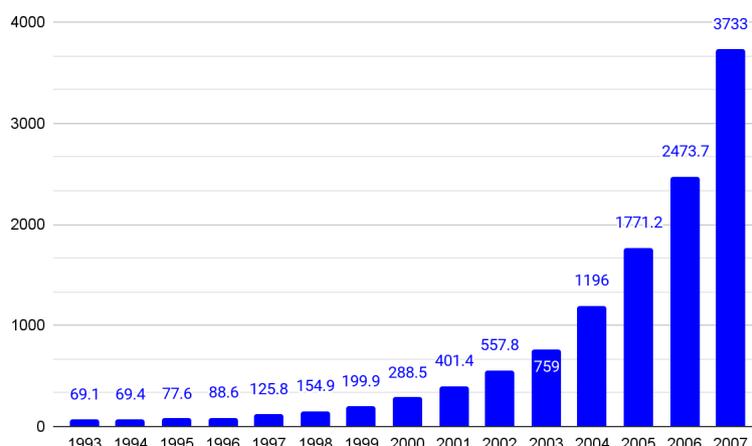
Ekologi merupakan salah satu prinsip arsitektur berkelanjutan yang melingkupi pengembangan ekosistem dalam kehidupan. Seluruh ekosistem termasuk manusia, hewan, dan tumbuhan saling berhubungan dan bergantung satu sama lain pada Ekologi Perkotaan. Prinsip strategi energi bertujuan untuk meminimalkan penggunaan energi yang dapat dilakukan dengan mendaur ulang ataupun mengurangi energi itu sendiri. Penggunaan energi tersebut dapat dilakukan dengan bantuan teknis dan nonteknis. Air merupakan kebutuhan utama bagi manusia, dimana konsep dari prinsip ini adalah mengurangi dan mengoptimalkan penggunaan air dengan menggunakannya kembali. Limbah adalah sisa-sisa pembuangan dari manusia yang terbagi menjadi tiga jenis: cair, padat, dan gas. Prinsip ini adalah mengupayakan dalam pengurangan pembuangan dengan cara reduksi, pengelolaan yang baik, dan daur ulang. Material adalah dasar dari pembangunan, dimana konsep dari prinsip ini adalah bahan material yang digunakan dapat diurai secara alami, tidak menyebabkan bahaya dan mencemari lingkungan, serta tahan lama dengan memperhatikan kenyamanan dan keamanan pula. Penerapan strategi ekonomi memiliki potensi untuk menghasilkan peluang pekerjaan bagi pelaku usaha UMKM dan warga di suatu daerah. Dampak positif ini dapat terlihat melalui terwujudnya kemandirian ekonomi di wilayah tersebut. Prinsip komunitas berkaitan dengan aspek sosial dalam suatu masyarakat. Hal ini melibatkan pemeliharaan keseimbangan ekosistem yang diwariskan, serta penerapan konsep keberlanjutan secara mandiri di wilayah tersebut. Budaya merupakan elemen pokok yang membentuk identitas sosial suatu daerah. Keberagaman budaya merupakan suatu kekayaan yang harus dijaga. Prinsip ini mencakup usaha untuk mempertahankan keunikan budaya tersebut agar tidak terpengaruh oleh budaya dari luar. Manajemen operasional melibatkan pemahaman warga terkait pemeliharaan sistem dan teknologi operasional bangunan. Prinsip ini mengharuskan warga untuk berperan sebagai pemelihara dan penjaga wilayah mereka, menekankan kebutuhan pengetahuan untuk menjaga kinerja bangunan yang dibangun (Ardiani, 2015).

Pengintegrasian arsitektur berkelanjutan dengan eduwisata dapat membuat pengunjung memperoleh pengetahuan secara tidak langsung dalam desain ramah lingkungan. Eduwisata juga dapat memainkan peran penting dalam membentuk generasi yang lebih sadar akan lingkungan dan mendorong mereka untuk menerapkan prinsip-prinsip berkelanjutan dalam desain dan kehidupan sehari-hari. Tiga peran utama dalam strategi desain berkelanjutan adalah manajemen air, strategi energi, dan strategi limbah. Ketiga strategi tersebut berfokus pada pemanfaatan sumber daya energi terbarukan, seperti air, listrik, dan limbah. Penerapan tersebut perlu dipikirkan dalam pembangunan sebuah eduwisata sehingga dapat meminimalkan pengeluaran limbah dan emisi karbon, serta dapat memberikan pengetahuan terhadap pengunjung tentang energi terbarukan tanpa adanya pengajaran secara formal.

Eduwisata film-sinematik di Watu Gamber adalah sebuah wadah yang dapat memberikan pengajaran tersebut diluar dari pengajaran secara formal dari film-sinematik. Eduwisata ini terletak di Watu Gamber, Karangpandan. Watu Gamber sendiri adalah tempat wisata yang menghadirkan pemandangan danau serta kesan alaminya. Watu Gamber juga sudah berkolaborasi dengan ISI Surakarta, Universitas Multimedia Nusantara, serta ISBI Sulawesi Selatan dalam perihal perfilman dimana mahasiswa mendapatkan wadah untuk berkarya dengan bantuan warga Desa Karang. Warga, sebaliknya, mendapatkan pembelajaran pembuatan film dari mahasiswa. Desa Karang sudah membuat beberapa film yang memiliki latar belakang Watu Gamber serta peran tokoh dari warga desa dan mahasiswa. Desa Karang juga menghadirkan festival film karang pada tahun 2021 yang menghadirkan tokoh seperti maestro perfilman, Slamet Raharjo Jarot. Desa Karang juga sudah ditetapkan sebagai desa wisata perfilman pada tahun 2022. Watu Gamber juga memiliki sumber daya alami yang sangat berlimpah, mulai dari batu kali hingga kayu jati kebon yang ada di sekitarnya. Watu Gamber juga memiliki potensi sumber daya energi terbarukan yang cukup banyak, mulai dari sinar matahari, sungai, hingga angin yang berpotensi dimanfaatkan.

Eduwisata yang berada di alam perlu memberikan kesan alami serta bersifat nonintrusif kepada alam yang di sekitarnya. Penerapan desain berkelanjutan perlu dipikirkan agar eduwisata ini dapat berfungsi secara optimal tanpa memberikan limbah yang berlebih serta dapat memberikan edukasi kepada masyarakat maupun pengunjung.

Pemanfaatan energi terbarukan dapat dilakukan dengan beberapa teknologi. Pemanfaatan energi surya dapat menggunakan fotovoltaik atau solar panel yang dapat merubah energi radiasi foton cahaya matahari menjadi energi listrik. Panel fotovoltaik sekarang sudah lazim ditemukan apabila dibandingkan dengan beberapa dekade lalu (gambar 1). Hal ini dikarenakan mulai sulitnya untuk mendapatkan batu bara maupun bahan bakar fosil (Bagnall, 2008).



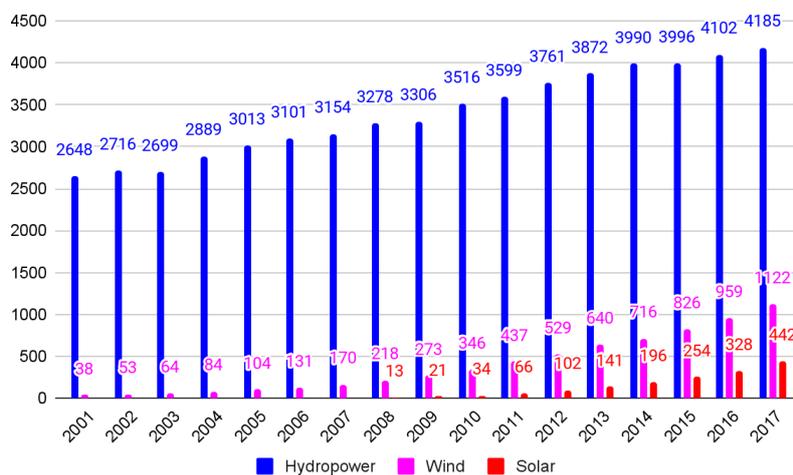
Gambar 1
Grafik Produksi Panel Fotovoltaik dalam mWP per Tahun
Sumber : *EurObserv'ER*, 2008

Keefektifan dari panel fotovoltaik dapat dilihat dari material yang digunakan. Material seperti crystalline-silicon hingga organic polymer serta dengan kemajuan teknologi material dapat memberikan keefektifan yang lebih baik (Parida et al., 2011). Panel surya akan menyediakan sumber listrik termurah dalam beberapa dekade mendatang meskipun tanpa adanya kemajuan teknologi yang jauh ke depannya (Green, 2019).

Beberapa penelitian yang telah dirangkum oleh Cronemberger et al. (2012) mengatakan bahwa dalam pemasangan fotovoltaik terdapat kriteria dasar yang bertujuan untuk meminimalkan kerugian. Pemasangan fotovoltaik yang efisien bergantung pada banyak faktor, diantaranya adalah sudut kemiringan panel sesuai dengan garis lintang dari letak lokasinya (Kaldellis dan Zafirakis, 2011).

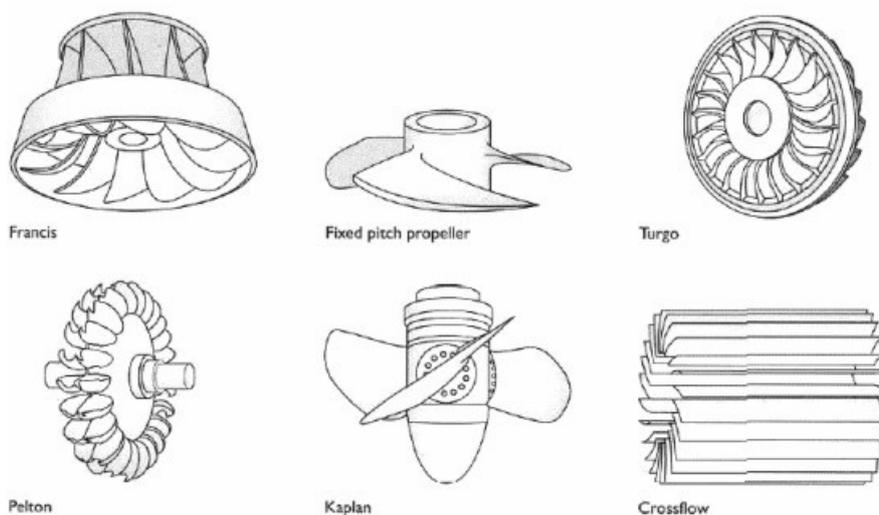
Keefektifan dari panel fotovoltaik mencapai tertinggi apabila sudut pemasangan panel tegak lurus dari sinar matahari sehingga mendapatkan radiasi lebih banyak (Handoyo et al., 2013).

Energi terbarukan kedua adalah energi yang diciptakan dari energi kinetik arus air yang bergerak. Energi ini disebut hydroelectric. Hydroelectric adalah cara termurah untuk menghasilkan listrik saat ini dikarenakan sumber energinya yang akan selalu gratis setelah sebuah hydroelectric dibangun dan peralatan sudah dipasang (Bagher et al., 2015). Hydroelectric adalah penghasil listrik terbarukan terbesar jika dibandingkan dengan fotovoltaik dan wind-power pada saat ini (IRENA, 2018) (Cazzaniga et al., 2019) (Gambar 2).



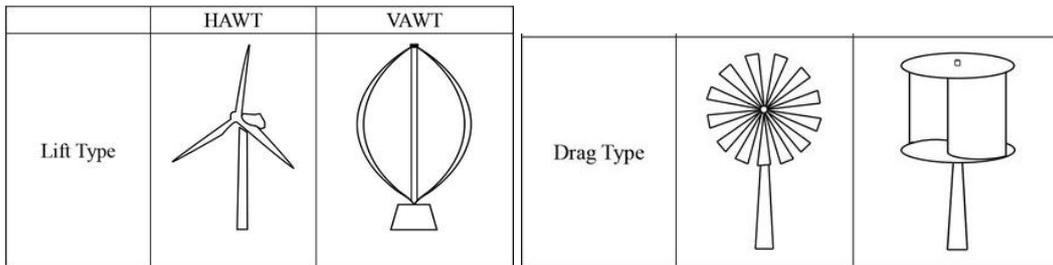
Gambar 2
Grafik Produksi Energi Terbarukan di Dunia per tahun dalam TWH
 Sumber : IRENA, 2018

Hydroelectric bukan berarti terlepas dari kekurangan. Salah satu kekurangan yang berpotensi pada pembuatan bendungan adalah hancurnya habitat di bawah bendungan serta berubahnya ketinggian air pada sungai (Bagher et al., 2015). Hal ini dapat dicegah dengan membentuk bendungan dengan turbin kecil di sungai yang kecil sehingga tidak merusak habitat dalam skala besar. Menurut Hatata et al. (2019) dari beberapa jenis turbin hydroelectric skala kecil yang dipasang di Mesir, tipe crossflow (gambar 3) adalah tipe yang paling ekonomis namun tipe kaplan adalah tipe yang paling efektif dalam menghasilkan energi.



Gambar 3
Tipe Turbin yang Digunakan pada Hydroelectric
 Sumber : Hatata et al (2019)

Energi terbarukan ketiga adalah energi yang tercipta dari prinsip airflow di mana angin mendorong sayap-sayap dari turbin angin sehingga mendorong generator dan menghasilkan listrik. Prinsip ini merupakan prinsip yang sama digunakan pada wind power untuk menghasilkan listrik. Turbin angin dibagi menjadi dua, yaitu HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine) dan VAWT (Vertical Axis Wind Turbine) (gambar 4). HAWT memiliki sayap yang besar dan dapat menghasilkan energi yang lebih besar serta memiliki nilai efektif 50% dibandingkan dengan VAWT. HAWT lebih cocok digunakan pada tempat yang jauh dari residensial dan terpencil. HAWT juga menghasilkan suara yang lebih bising jika dibandingkan dengan VAWT (Al-Rawajfeh & Gomaa, 2023).



Gambar 4
Tipe Turbin angin VAWT dan HAWT
Sumber : Li (2018)

Wardhana et al. (2022) menyatakan bahwa terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan untuk menghasilkan tenaga, seperti kecepatan angin, ukuran sayap, jumlah sayap, tinggi turbin, dan generator yang digunakan untuk menghasilkan listrik. Menurut Wardhana, et al. (2022) pada riset nya, permasalahan kecepatan angin rendah dapat diatasi dengan turbin skala kecil (gambar 5). Hasil yang didapatkan adalah kecepatan angin dan rotasi berbanding lurus dengan tegangan dan aliran yang dihasilkan.



Gambar 5
Turbin Angin Skala Kecil
Sumber : Wardhana et al. (2022)

2. 2. METODE PENELITIAN

Penelitian konsep perencanaan desain energi terbarukan pada eduwisata film-sinematik di Watu Gambir menggunakan metode mixed-method dalam penyusunannya. Metode ini melingkupi empat tahap. Tahap pertama metode penelitian adalah pengidentifikasian masalah, diikuti dengan pengumpulan data, analisis data, dan sintesis desain dalam mencapai tujuan dan sasaran penelitian.

Identifikasi masalah dilakukan dengan observasi lokasi secara langsung dan didapatkan bahwa adanya potensi energi terbarukan oleh energi surya, arus air, dan arus angin di Watu Gambir, Desa Karang, Karangpandan, Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah. Situasi lokasi Watu Gambir berpotensi

dalam memanfaatkan energi terbarukan secara optimal dikarenakan Watu Gambir memiliki sumber daya terbarukan yang melimpah. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menemukan desain dari energi terbarukan melingkupi fotovoltaik, hydroelectric, dan turbin angin dalam memanfaatkan sumber daya di Watu Gambir.

Tahap dilanjutkan dengan mengumpulkan data yang terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer didapatkan dari observasi secara langsung ke lokasi serta melakukan survei melalui data di internet. Data primer yang diperoleh melingkupi data pencahayaan matahari dan data meteorologi (kecepatan angin dan arus air). Data sekunder diperoleh dari studi literatur meliputi artikel dan jurnal terkait energi terbarukan.

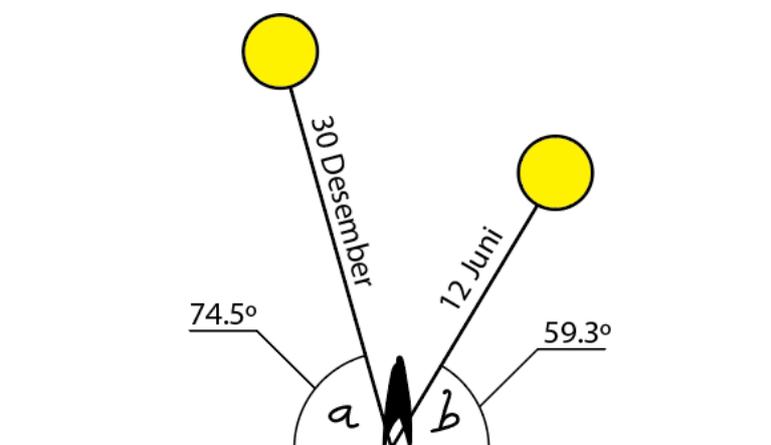
Data-data yang telah didapatkan dari tahap sebelumnya diolah sehingga mendapatkan sebuah strategi desain dalam merancang komponen energi terbarukan. Strategi tersebut akan digunakan sebagai panduan dalam mengembangkan konsep perencanaan dan proses perancangan.

Terakhir adalah merumuskan konsep perencanaan dan perancangan. Tahap perumusan konsep merupakan implementasi untuk menemukan desain dari energi terbarukan yang tepat dalam memanfaatkan sumber daya alam di Watu Gambir. Perumusan konsep meliputi perumusan desain panel fotovoltaik, hydroelectric, dan turbin angin.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

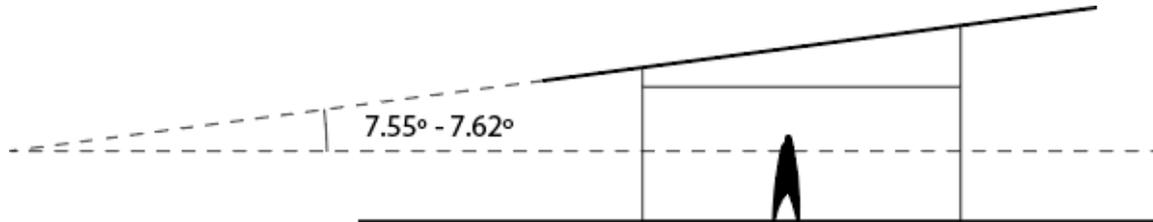
Penelitian ini yang menghasilkan strategi desain energi terbarukan ditentukan berdasarkan beberapa kriteria. Kriteria tersebut berfokus kepada penerapan desain berkelanjutan yang meliputi prinsip strategi energi. Tujuan dari kriteria tersebut adalah mendapatkan desain pembangkit listrik bertenaga terbarukan yang sesuai dengan lokasi eduwisata, yaitu di Watu Gambir, Karangpandan. Berdasarkan kriteria tersebut, maka desain panel fotovoltaik, hydroelectric, serta turbin angin ditetapkan sebagai pembangkit listrik tenaga terbarukan yang cocok sesuai pada lokasi.

Watu Gambir memiliki sumber daya alam yang melimpah, mulai dari cahaya matahari, kecepatan angin yang cukup, dan arus air. Observasi mendapatkan bahwa vegetasi di Watu Gambir tidak terlalu banyak yang dapat memaksimalkan cahaya matahari yang masuk. Data yang diambil melalui SunCalc.org menyatakan bahwa pada tanggal 12 Juni, matahari akan menyinari lokasi dengan sudut solar altitude $59,3^\circ$ dan pada tanggal 30 Desember, matahari akan menyinari lokasi dengan sudut solar altitude $74,5^\circ$ (gambar 6). Data sudut solar altitude tersebut dapat digunakan dalam menentukan sudut yang optimal dalam memasang panel fotovoltaik dengan sudut pemasangan panel tegak lurus dari sinar matahari yang menghasilkan radiasi akan terserap lebih banyak.



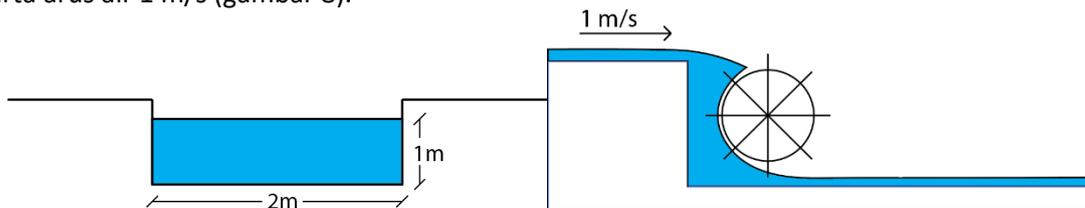
Gambar 6
Sudut Solar Altitude di Watu Gambir pada tanggal 12 Juni dan 30 Desember

Sudut pemasangan panel dapat ditemukan dengan rumus $\frac{(90-a)-(90-b)}{2}$. Angka 7.55 ditemukan sebagai sudut optimal untuk pemasangan panel fotovoltaik dengan menggunakan cara tegak lurus dari sudut solar altitude. Sudut optimal pemasangan panel fotovoltaik didapatkan pada angka 7.62 apabila menggunakan cara mengambil dari latitude lokal. Watu Gambir terletak pada 7.626° LS. Kesimpulan ditemukan bahwa angka sudut optimal untuk pemasangan panel fotovoltaik ada pada 7.5° hingga 7.62° (gambar 7). Penerapan dari pemasangan panel fotovoltaik tipe modul 350 WP, berdasarkan kalkulator.solarhub.id, akan menghasilkan penghematan per tahun sebesar 150 juta rupiah dengan luas permukaan 582 m² (dengan asumsi Rp1400/kWh).



Gambar 7
Hasil Sudut Optimal Panel Fotovoltaik di Watu Gambir

Watu Gambir juga memiliki arus air dari sungai yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi. Energi tersebut adalah hydroelectric yang dapat diciptakan dari energi kinetik arus air. Sungai yang melintasi Watu Gambir merupakan sungai dengan lebar 2 meter dan kedalaman air 1 meter beserta arus air 1 m/s (gambar 8).



Gambar 8
Dimensi Sungai dan Visualisasi Turbin pada Watu Gambir

Hydroelectric tipe crossflow merupakan tipe turbin dengan biaya pemasangan paling ekonomis. Turbin tipe ini juga mudah untuk dipasang dan dapat menghasilkan energi yang cukup. Turbin tipe crossflow merupakan turbin yang tepat digunakan karena tipe tersebut merupakan tipe turbin skala kecil yang cocok dengan sungai kecil yang melintasi Watu Gambir. Perhitungan dari penerapan hydroelectric berdasarkan omnicalculator.com mendapatkan daya yang dihasilkan ada pada angka 0.3992kW. Penghematan listrik dari hydroelectric didapatkan sebesar Rp320.190 per bulan (dengan asumsi Rp1400/kWh) dan penghematan per tahun sebesar Rp3.842.284 dengan asumsi berjalan stabil 365 hari per tahun.

Kecepatan angin turut dapat dimanfaatkan dengan menggunakan turbin angin. Hasil observasi mendapatkan kecepatan rata-rata angin di Watu Gambir adalah 1,75 m/s dan arah angin (orientasi) mengarah ke utara. Kecepatan rata-rata angin di Watu Gambir cenderung rendah (tabel 1), maka dibutuhkan turbin angin berskala kecil untuk memanfaatkan kecepatan angin tersebut.

TABEL 1
OBSERVASI KECEPATAN DAN ORIENTASI ANGIN DI WATU GAMBIR

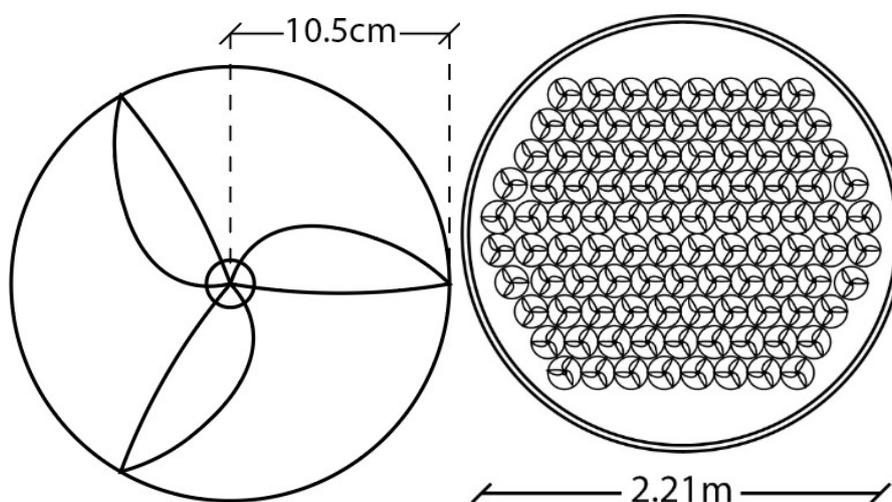
Waktu	Kecepatan (m/s)	Orientasi (°)
-------	-----------------	---------------

07.00	2	195
13.00	1	2
16.00	2	58
19.00	2	150
Rata-Rata	1.75	101.25 (Utara)

Turbin angin yang diterapkan adalah turbin angin tipe HAWT skala kecil sehingga dapat mengatasi masalah kecepatan angin yang rendah (1.75 m/s). Turbin angin dibuat dengan skala mengikuti riset Wardhana et al. (2022) yaitu menggunakan tiga sayap dengan panjang sayap 10.5 cm serta lebar 5 cm yang menghasilkan 1.28mA pada 20mV (gambar 9).

Penggunaan turbin yang banyak berpotensi meningkatkan pengambilan arus angin dengan luas lebih besar serta menghasilkan arus lebih tinggi. Konfigurasi 100 turbin dapat menghasilkan 2V serta 1.28mA yang dikonversi menjadi 0.00256W (gambar 9). enam dari konfigurasi ini dipasang dengan seri sehingga menghasilkan 12V 1.28mA. Dua dari konfigurasi ini dipasang paralel sehingga

menghasilkan tegangan sebesar 12V dan aliran sebesar 2.56mA yang setara dengan 0.03W serta 1.8WH. Konfigurasi semua ini – dengan asumsi angin stabil selama 20 jam – dapat menghasilkan 3.6W per harinya dan 13.14kW per tahunnya. Konfigurasi ini dapat menghemat sekitar 440 ribu rupiah per tahunnya (dengan asumsi Rp1400/kWh).



Gambar 9
Dimensi dan Konfigurasi Turbin Angin Optimal di Watu Gambir

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Perencanaan desain energi terbarukan pada eduwisata film-sinematik di Watu Gambir bertujuan untuk memanfaatkan sumber daya alamnya yang melimpah. Kriteria perencanaan dan perancangan berfokus kepada penerapan desain berkelanjutan yang meliputi prinsip strategi energi. Tujuan dari kriteria tersebut adalah mendapatkan desain pembangkit listrik bertenaga terbarukan meliputi desain panel fotovoltaik, hydroelectric, serta turbin angin.

Perencanaan desain panel fotovoltaik di Watu Gambir dikalkulasikan berdasarkan sudut solar altitude dan latitude lokal. Angka sudut optimal dalam pemasangan panel fotovoltaik berada pada

kisaran 7.5° hingga 7.62° . Penerapan panel fotovoltaik tipe modul 350 WP dengan luas permukaan 582 m^2 akan menghasilkan penghematan per tahun sebesar 150 juta rupiah. Perencanaan turbin hydroelectric di Watu Gambir dikalkulasikan menggunakan omnicalculator.com menggunakan bentuk turbin crossflow. Bentuk turbin ini mudah dibuat serta ekonomis dibanding bentuk turbin lainnya. Turbin ini dapat menghasilkan 0.39 kW dan – dengan asumsi berjalan stabil selama 365 hari per tahunnya – dapat menghemat Rp3.842.284 per tahunnya. Perencanaan turbin angin dilakukan dengan melihat referensi dari penelitian Wardhana (2022) dan mengaplikasikannya. Sebuah konfigurasi custom diperlukan agar mendapatkan voltase yang cukup. Konfigurasi ini dapat menghemat sekitar Rp440.000 per tahunnya.

Perencanaan desain energi terbarukan ini dapat menghasilkan penghematan dengan total Rp154,290,000 (dengan asumsi Rp1400/kWh) per tahunnya dimana panel fotovoltaik berkontribusi secara mayoritas dan diikuti oleh turbin air dan turbin angin. Perencanaan eduwisata film-sinematik di Watu Gambir, Karangpandan dapat memfungsikan desain strategi energi yang sudah optimal sehingga dapat memanfaatkan sumber daya terbarukan secara penuh.

REFERENSI

- Al-Rawajfeh, M. A., & Gomaa, M. R. (2023). Comparison between horizontal and vertical axis wind turbine. *International Journal of Applied Power Engineering (IJAPE)*, 12(1).
- Ananda, P., Winarto, Y., & Triratma, B. (2023). Penerapan Konsep Eduwisata pada Agro Techno Park di Kabupaten Karanganyar. *Senthong*, 3(2), 346-357.
- Bagher, A. M., Vahid, M., Mohsen, M., & Parvin, D. (2015). Hydroelectric Energy Advantages and Disadvantages. *American Journal of Energy Science*, 2(2), 17-20.
- Bagnall, D. M., & Boreland, M. (2008). Photovoltaic Technologies. *Energy Policy*, 36.
- Cazzaniga, R., Rosa-Clot, M., Rosa-Clot, P., & Tina, G. M. (2019). Integration of PV floating with hydroelectric power plants. *Heylion*, 5.
- Cronemberger, J., Caamañ'o-Martín, E., & Sánchez, S. V. (2012). *Energy and Buildings. Assessing the Solar Irradiation Potential for Solar Photovoltaic Applications in Buildings at Low Latitudes – Making the Case for Brazil*, 55, 264-272. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.044>
- Eurobserv'ER. (2008). Photovoltaic Energy Barometer. http://ec.europa.eu/energy/res/publications/barometers_en.html
- Green, M. A. (2019). Photovoltaic Technology and Visions for The Future. *Energy Policy*, 1(1). [10.1088/2516-1083/ab0fa8](https://doi.org/10.1088/2516-1083/ab0fa8)
- Handoyo, E. A., Ichsani, D., & Prabowo. (2013). The Optimal Tilt Angle of a Solar Collector. *Energy Procedia*, 32, 166-175. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610213000246>
- Hatata, A. Y., El-Saadawi, M. M., & Saad., S. (2019). A feasibility study of small hydro power for selected locations in Egypt. *Energy Strategy Reviews*, 24, 300-313.
- IRENA. (2018). Renewable Capacity Statistics. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- Kaldellis, J., & Zafirakis, D. (2012). *Energy. Experimental Investigation of the Optimum Photovoltaic Panels' Tilt Angle during the Summer Period*, 38, 305-314. [doi:10.1016/j.energy.2011.11.058](https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.11.058)
- Li, Y. (2019). *Straight-Bladed Vertical Axis Wind Turbines: History, Performance, and Applications. Rotating Machinery*.
- Mojica, E. E., Fabay, C. M., Kenhinde, F., & Tenorio, J. L. (2019). Design and development of integrated savonius and darrieus small scale vertical axis wind turbine for power generation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 291.
- Parida, B., Iniyar, S., & Goic, R. (2011). A review of solar photovoltaic technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3). <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032110004016?via%3Dihub>