

Perancangan Aerator Tenaga Surya Berbasis IoT Menggunakan Metode *Value Engineering* untuk Mengoptimalkan Kualitas Air Tambak

Harmoko*, Risal Ngizudin, Melita Khairina, Amanda Fitri Noviyani

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, Institut Teknologi dan Sains Nahdlatul Ulama Pekalongan, Pekalongan, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 30 Juli 2026
Revisi Akhir: 12 Oktober 2026
Diterbitkan Online: 13 Oktober 2026

KATA KUNCI

Aerator
Internet of Things (IoT)
Tenaga Surya
Tambak
Value Engineering

KORESPONDENSI (*)

E-mail: harmoko@itsnupekalongan.ac.id

A B S T R A K

Tujuan penelitian ini adalah merancang aerator yang digerakkan oleh energi surya dan berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan pendekatan *Value Engineering* (VE). Penelitian menggunakan metode *Value Engineering* dengan tahapan informasi, analisis fungsi, kreativitas, evaluasi, dan pengembangan. Hasil penelitian menunjukkan desain aerator tenaga surya memiliki biaya pembuatan yang lebih murah dibandingkan aerator konvensional. Pengembangan aerator tambak menggunakan motor listrik satu fase yang dipadukan dengan panel surya 20 Wp. Biaya pembuatan aerator tenaga surya sebesar Rp4.413.600, sedangkan aerator konvensional sebesar Rp5.500.000, sehingga terdapat penghematan sekitar 19,8%. Penelitian ini berdampak positif terhadap pengelolaan tambak, efisiensi biaya, dan peningkatan kesejahteraan petambak. Aerator cerdas berbasis IoT dan tenaga surya dengan pendekatan *Value Engineering* terbukti lebih efisien, ramah lingkungan, dan adaptif terhadap kondisi air tambak dibandingkan sistem konvensional. Inovasi ini berpotensi menjadi solusi berkelanjutan dalam peningkatan budidaya perikanan di Indonesia.

PENDAHULUAN

Budidaya perikanan tambak merupakan salah satu industri utama di sepanjang pantai utara Jawa, khususnya di wilayah Kabupaten dan Kota Pekalongan, serta memberikan kontribusi ekonomi yang signifikan bagi masyarakat pesisir. Sebagian besar tambak di kawasan ini dikelola secara semi-intensif oleh petambak skala kecil dengan modal terbatas, sehingga setiap komponen biaya produksi sangat menentukan kelayakan usaha. Namun dalam beberapa tahun terakhir, banjir pasang surut (rob) semakin sering mengganggu produktivitas budidaya di wilayah tersebut, dengan luas lahan tambak yang terdampak genangan terus meningkat seiring skenario perubahan iklim [1], dan kerugian ekonomi yang dirasakan langsung oleh masyarakat pesisir [2].

Kualitas air tambak menurun drastis akibat intrusi air laut yang disebabkan oleh banjir pasang surut, terutama terkait dengan kadar oksigen terlarut (*dissolved oxygen*/DO). Pada biota air, termasuk ikan dan udang, kadar DO di bawah rentang optimal 4 mg/L hingga 7,5 mg/L dapat menyebabkan stres, pertumbuhan terhambat, penurunan nafsu makan, dan pada kondisi ekstrem menyebabkan kematian massal [3], [4]. Penurunan DO umumnya terjadi pada dini hari ketika proses fotosintesis fitoplankton berhenti sementara respirasi biota dan dekomposisi bahan organik terus berlangsung. Oleh karena itu, aerator diperlukan untuk menjaga dan meningkatkan kadar oksigen terlarut secara mekanis [5].

Pemanfaatan aerator konvensional di lapangan masih sangat bergantung pada energi fosil atau listrik PLN. Selain menimbulkan biaya operasional bulanan yang besar, penggunaan energi fosil juga berdampak kurang baik terhadap lingkungan melalui emisi gas rumah kaca. Di sisi lain, wilayah pesisir Pekalongan memperoleh intensitas radiasi matahari

yang tinggi sepanjang tahun. Tenaga surya karena itu menjadi alternatif yang menarik karena ketersediaannya hampir tidak terbatas, tidak menimbulkan biaya bahan bakar, dan ramah lingkungan [6].

Selain persoalan sumber energi, pengelolaan tambak juga terkendala keterbatasan pemantauan. Pengukuran kualitas air umumnya masih dilakukan secara manual dan berkala sehingga penurunan DE tidak selalu terdeteksi tepat waktu. Penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan parameter kualitas air dipantau secara *real time* dan diakses dari jarak jauh melalui perangkat bergerak, sehingga petambak dapat mengambil keputusan lebih cepat serta mengoperasikan aerator hanya ketika diperlukan [7], [8].

Meskipun demikian, perancangan aerator selama ini belum memaksimalkan nilai keseimbangan antara kinerja, biaya, dan keandalan. Penambahan panel surya dan perangkat IoT berpotensi menaikkan biaya investasi awal apabila pemilihan komponen tidak dikendalikan, sehingga rancangan tersebut justru menjadi tidak terjangkau bagi petambak kecil [9]. Diperlukan pendekatan yang mampu menekan biaya tanpa mengorbankan fungsi utama alat. Metode *Value Engineering* (VE) dipilih sebagai pendekatan dalam penelitian ini karena mampu mengoptimalkan nilai produk dengan mempertahankan kualitas dan fungsi serta menurunkan biaya melalui rekayasa nilai secara sistematis [10].

Beberapa penelitian terdahulu telah membahas rancang bangun aerator mekanis bertenaga terbarukan [3], [6], [11]–[13] dan sistem pemantauan kualitas air berbasis IoT [7], [8], [14]–[21] secara terpisah, sedangkan *Value Engineering* telah diterapkan pada berbagai produk manufaktur dan konstruksi [9], [10], [22]–[26]. Kegiatan pengabdian masyarakat terbaru bahkan telah menerapkan aerator cerdas berbasis IoT dan tenaga surya pada kelompok petambak di pesisir Pekalongan dan melaporkan penurunan biaya listrik sebesar 20–30% [27]. Namun, kajian yang secara khusus memadukan ketiga aspek tersebut dalam satu kerangka analisis *Value Engineering* yang menghitung alokasi biaya per fungsi masih terbatas — celah inilah yang menjadi kebaruan penelitian ini.

Berdasarkan uraian tersebut, tujuan penelitian ini adalah merancang aerator tambak bertenaga surya dan berbasis IoT dengan pendekatan *Value Engineering*, mengidentifikasi fungsi beserta alokasi biayanya, serta membandingkan biaya rancangan yang dihasilkan terhadap aerator konvensional, sehingga diperoleh rancangan yang lebih hemat biaya tanpa mengurangi fungsi utamanya dalam menjaga kualitas air tambak.

TINJAUAN PUSTAKA

Kualitas Air Tambak dan Oksigen Terlarut

Kualitas air merupakan faktor penentu keberhasilan budidaya tambak. Parameter yang paling kritis adalah oksigen terlarut, suhu, dan derajat keasaman (pH). Oksigen terlarut dibutuhkan oleh biota untuk respirasi dan oleh mikroorganisme untuk menguraikan sisa pakan serta bahan organik di dasar tambak. Rentang DO yang optimal bagi ikan dan udang berada pada 4 mg/L hingga 7,5 mg/L; di bawah nilai tersebut biota mengalami stres fisiologis, laju pertumbuhan menurun, dan risiko kematian meningkat [3], [4]. Suhu air memengaruhi kelarutan oksigen secara berbanding terbalik, sedangkan pH yang berada di luar rentang 7,5–8,5 dapat mengganggu proses metabolisme dan meningkatkan toksisitas amonia.

Pada tambak di kawasan pesisir, fluktuasi kualitas air diperparah oleh intrusi air laut akibat banjir rob yang mengubah salinitas dan menurunkan kadar oksigen secara mendadak [5]. Kondisi tersebut menuntut adanya sistem aerasi yang dapat bekerja secara adaptif, yaitu meningkat intensitasnya ketika kadar DO turun dan berhenti ketika kadar DO telah memadai, agar konsumsi energi tidak berlebihan.

Penelitian terhadap udang vaname menunjukkan bahwa kadar DO berpengaruh nyata terhadap laju pertumbuhan dan sintasan [28], dan berkorelasi dengan parameter pH secara keseluruhan [29]. Ketentuan teknis pemerintah merekomendasikan DO minimum 4,0 mg/L untuk budidaya udang vaname [30], sedangkan kajian dinamika oksigen terlarut pada tambak intensif menegaskan bahwa penurunan DO paling kritis terjadi pada dini hari akibat terhentinya fotosintesis fitoplankton [31].

Aerator dan Mekanisme Transfer Oksigen

Aerator adalah alat yang berfungsi meningkatkan laju transfer oksigen dari udara ke dalam badan air. Mekanismenya bekerja dengan memperluas bidang kontak antara air dan udara serta menimbulkan turbulensi sehingga difusi oksigen

meningkat. Jenis aerator yang umum digunakan pada tambak antara lain aerator kincir (*paddle wheel*), aerator semprot (*splash aerator*), aerator jet, dan aerator difuser. Aerator jenis kincir paling banyak dipakai petambak karena konstruksinya sederhana, mudah dirawat, dan efektif menghasilkan sirkulasi air pada kolam dangkal [5].

Penelitian terdahulu telah mengembangkan *splash aerator* berenergi angin bagi petani tambak udang untuk mengurangi ketergantungan pada listrik jaringan [3], [11], sedangkan pendekatan dengan sumber energi surya diuji pada kolam lele menggunakan algoritma *incremental conductance* [6]. Pada sisi mekanis, rekayasa kincir air pada tambak udang vaname menunjukkan bahwa geometri sudu dan kecepatan putar berpengaruh langsung terhadap laju transfer oksigen [12], sementara turbin angin tipe *windmill* untuk sistem aerasi tambak menunjukkan potensi sebagai penggerak tambahan [13]. Kajian-kajian tersebut belum banyak membahas aspek nilai ekonomis rancangan secara sistematis.

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya

Sistem fotovoltaiik mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik arus searah melalui efek fotolistrik pada sel semikonduktor. Komponen utamanya terdiri dari modul panel surya, pengatur pengisian (*solar charge controller*), baterai penyimpan, dan inverter yang mengubah arus searah menjadi arus bolak-balik untuk menyuplai beban motor [6]. Kapasitas modul dinyatakan dalam satuan *watt-peak* (Wp), yaitu daya keluaran maksimum pada kondisi pengujian standar. Energi harian yang dapat dipanen dihitung dari perkalian kapasitas modul dengan lama penyinaran puncak (*peak sun hours*, PSH, berkisar 3,5–4,5 jam per hari di Indonesia) dan efisiensi sistem, sehingga perhitungan kebutuhan energi beban menjadi tahap kritis dalam perancangan agar kapasitas modul tidak terlalu kecil maupun berlebihan.

Internet of Things untuk Pemantauan Kualitas Air

Internet of Things adalah konsep yang menghubungkan perangkat fisik ke jaringan internet sehingga mampu bertukar data tanpa interaksi manusia secara langsung. Pada aplikasi tambak, sistem IoT umumnya tersusun atas lapisan sensor (DO, suhu, pH), lapisan pengendali berupa mikrokontroler, lapisan komunikasi, dan lapisan antarmuka pengguna berupa aplikasi ponsel atau papan pemantau berbasis web [8]. Mikrokontroler berbasis ESP32 banyak dipilih karena telah terintegrasi modul Wi-Fi sehingga memudahkan pengiriman data ke aplikasi Android maupun platform cloud tanpa modul komunikasi tambahan [32].

Penelitian terdahulu telah menerapkan protokol komunikasi ZigBee untuk memantau kualitas air pada tambak udang dengan konsumsi daya rendah [7], serta membangun sistem pemantauan yang memungkinkan akses data historis maupun kondisi terkini dari jarak jauh [8], [14], [15]. Penelitian yang lebih awal merintis sistem pemantauan kualitas air tambak secara *real time* [16], yang kemudian dikembangkan menjadi aplikasi berbasis Android [17] dan platform Blynk untuk menampilkan data sensor pH, suhu, dan DO secara langsung [18]. Pemantauan berbasis *wireless sensor network* juga telah diuji pada budidaya udang vaname untuk menjangkau beberapa titik tambak sekaligus [19], sedangkan salinitas dapat dipantau menggunakan komunikasi LoRa yang hemat daya [20], dan simulasi pemantauan DO berbasis IoT menunjukkan potensi peringatan dini sebelum kondisi kritis terjadi [21]. Integrasi sistem pemantauan dengan aktuator aerator membuka peluang pengendalian otomatis berbasis ambang batas, sehingga aerator hanya bekerja ketika DO berada di bawah nilai acuan.

Metode Value Engineering

Value Engineering atau rekayasa nilai adalah pendekatan sistematis dan terorganisasi untuk menganalisis fungsi suatu produk atau proses dengan tujuan memenuhi fungsi tersebut pada biaya total terendah tanpa mengorbankan mutu, keandalan, dan keselamatan. Nilai (*value*) dalam konteks ini dirumuskan sebagai perbandingan antara fungsi atau performansi yang diperoleh terhadap biaya yang dikeluarkan, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1).

$$V = F / C \quad (1)$$

dengan V adalah nilai, F adalah fungsi atau performansi, dan C adalah biaya. Nilai suatu rancangan dapat ditingkatkan dengan menaikkan performansi pada biaya tetap, menurunkan biaya pada performansi tetap, atau kombinasi keduanya.

Penerapan *Value Engineering* telah terbukti efektif pada beragam objek: proyek jembatan [9], pekerjaan arsitektural bangunan komersial [26], proyek pembangunan vila [25], mesin peleleh biji plastik [10], produk sepatu [22], alat pengemas tempe [23], serta produksi sapu ijuk [24]. Seluruh kajian tersebut menunjukkan pola konsisten, yaitu analisis fungsi mampu mengungkap komponen biaya yang tidak sebanding dengan kontribusi fungsionalnya, dan komponen tersebut menjadi sasaran utama perbaikan rancangan.

METODOLOGI

Jenis, Lokasi, dan Objek Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian perancangan (*design research*) dengan pendekatan *value engineering* untuk mengembangkan aerator tambak berbasis IoT dan tenaga surya. Objek penelitian adalah aerator tambak yang digunakan oleh petambak di wilayah pesisir Pekalongan. Pengumpulan data lapangan dilakukan dari Maret sampai Oktober 2025 di Desa Api-api Kecamatan Wonokerto Kabupaten Pekalongan, sedangkan proses perancangan dan pemodelan tiga dimensi dilakukan di Laboratorium Program Studi Teknik Industri, Institut Teknologi dan Sains Nahdlatul Ulama Pekalongan.

Teknik Pengumpulan Data

Data yang digunakan terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung terhadap pengoperasian aerator konvensional di tambak, wawancara dengan petambak mengenai biaya operasional dan kendala pemakaian alat, serta pengukuran parameter kualitas air. Data sekunder diperoleh dari studi literatur berupa jurnal dan prosiding yang relevan, katalog harga komponen dari pemasok, serta spesifikasi teknis peralatan.

Tahapan Penelitian

Metode *value engineering* yang digunakan terdiri atas lima tahapan, yaitu tahap informasi, tahap kreatif, tahap analisis, tahap pengembangan, dan tahap presentasi [22]. Pada penelitian ini tahapan tersebut diadaptasi menjadi tahap informasi, analisis fungsi, kreatif, evaluasi, dan pengembangan. Rincian kegiatan dan luaran setiap tahap disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tahapan Penelitian, Kegiatan, dan Luaran

No	Tahap	Kegiatan	Luaran
1	Informasi	Mengumpulkan data kondisi tambak, parameter kualitas air, spesifikasi dan biaya operasional aerator konvensional, serta harga komponen	Basis data awal perancangan
2	Analisis fungsi	Mengidentifikasi fungsi alat, mengelompokkan fungsi dasar dan penunjang, serta mengalokasikan biaya setiap fungsi	Tabel analisis fungsi dan distribusi biaya
3	Kreatif	Menyusun alternatif rancangan dan pemilihan komponen, membuat model tiga dimensi menggunakan CATIA V5	Alternatif desain dan daftar kebutuhan bahan
4	Evaluasi	Menilai kelebihan dan kekurangan setiap alternatif serta membandingkan biaya terhadap kriteria yang telah ditetapkan	Desain terpilih
5	Pengembangan	Menghitung nilai (<i>value</i>) desain terpilih dengan membandingkan performansi terhadap biaya dan menetapkan spesifikasi akhir	Spesifikasi akhir aerator

Metode Analisis Data

Analisis biaya dilakukan dengan menyusun daftar kebutuhan bahan (*bill of material*) beserta harga satuan yang berlaku, kemudian mengalokasikan biaya setiap komponen ke fungsi yang didukungnya. Perbandingan kelayakan ekonomi antara aerator tenaga surya dan aerator konvensional dilakukan menggunakan konsep biaya kepemilikan total (*total cost of ownership*), yaitu penjumlahan biaya investasi awal dan biaya operasional selama umur pakai yang ditinjau, sebagaimana dinyatakan pada Persamaan (2).

$$TCO = C_{0\sim} + (C_{op\sim} \times n) \quad (2)$$

dengan *TCO* adalah biaya kepemilikan total, *C_{0~}* adalah biaya investasi awal, *C_{op~}* adalah biaya operasional per bulan, dan *n* adalah jumlah bulan masa peninjauan. Kebutuhan energi harian beban dan kapasitas panel surya yang diperlukan dihitung menggunakan Persamaan (3) dan Persamaan (4).

$$E_{\sim\text{beban}\sim} = P \times t \quad (3)$$

$$P_{\sim\text{panel}\sim} = E_{\sim\text{beban}\sim} / (\text{PSH} \times \eta) \quad (4)$$

dengan $E_{\sim\text{beban}\sim}$ adalah kebutuhan energi harian (Wh), P adalah daya motor (W), t adalah lama operasi harian (jam), $P_{\sim\text{panel}\sim}$ adalah kapasitas panel yang dibutuhkan (Wp), PSH adalah lama penyinaran puncak (jam), dan η adalah efisiensi total sistem.

HASIL DAN PEMBAHASAN

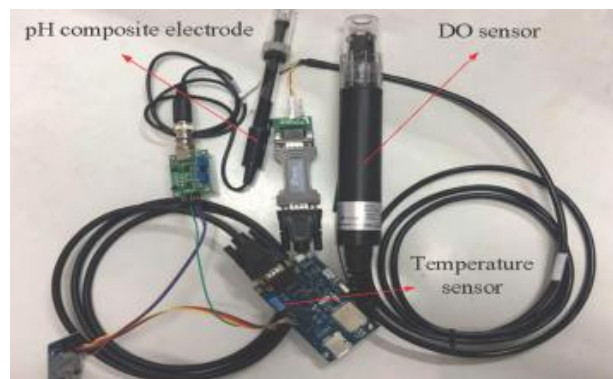
Tahap Informasi

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data awal yang menjadi dasar analisis *value engineering* dalam pengembangan aerator berbasis IoT dengan panel surya [23], [24]. Data yang diperoleh meliputi desain aerator yang digunakan petambak, jenis turbin aerator, parameter kualitas air yang harus dijaga, serta biaya operasional aerator konvensional. Hasil observasi menunjukkan bahwa aerator konvensional yang digunakan petambak berdaya 750 W dan menimbulkan biaya listrik sebesar Rp600.000 hingga Rp750.000 per unit per bulan. Parameter kualitas air yang menjadi acuan perancangan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Kualitas Air Tambak yang Dipantau

No	Parameter	Rentang Optimal	Dampak bila di Luar Rentang
1	Oksigen terlarut (DO)	4,0–7,5 mg/L	Stres, pertumbuhan terhambat, hingga kematian biota [3], [4]
2	Suhu air	20–30 °C	Kelarutan oksigen menurun dan metabolisme terganggu
3	Derajat keasaman (pH)	7,5–8,5	Toksisitas amonia meningkat dan nafsu makan menurun

Untuk memantau ketiga parameter tersebut secara *real time*, dipilih tiga jenis sensor yang kompatibel dengan mikrokontroler, yaitu sensor DO, sensor suhu, dan sensor pH. Rangkaian sensor yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sensor-sensor yang digunakan pada sistem pemantauan

Tahap Analisis Fungsi

Analisis fungsi bertujuan memastikan setiap fungsi alat beroperasi secara maksimal dan mengetahui besarnya biaya yang dikeluarkan untuk mewujudkan masing-masing fungsi. Fungsi utama alat dirumuskan dalam pasangan kata kerja dan kata benda, kemudian dikelompokkan menjadi fungsi dasar, yaitu fungsi yang menjadi alasan keberadaan alat, dan fungsi penunjang, yaitu fungsi yang mendukung terlaksananya fungsi dasar.

Terdapat enam fungsi yang teridentifikasi, yaitu menyediakan energi listrik, menggerakkan turbin aerasi, memantau kualitas air, mengirim dan menampilkan data, menopang serta mengapungkan sistem, dan melindungi konstruksi. Biaya

setiap komponen pada daftar kebutuhan bahan kemudian dialokasikan ke fungsi yang didukungnya. Hasil alokasi tersebut disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Analisis Fungsi dan Alokasi Biaya Alat Aerator Tenaga Surya

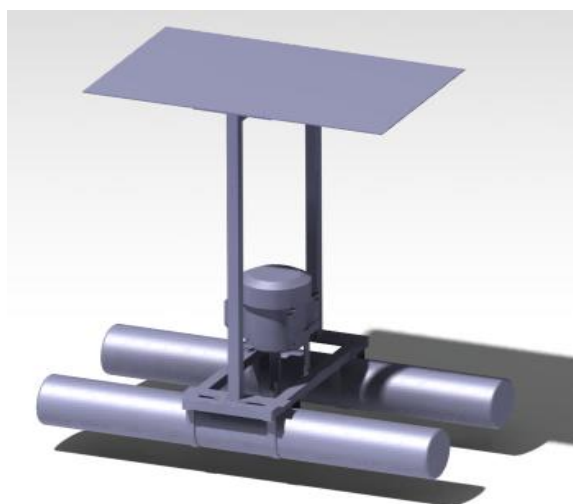
No	Fungsi	Klasifikasi	Komponen Pendukung	Biaya (Rp)	Proporsi
1	Memantau kualitas air	Penunjang	Sensor DO, sensor suhu, sensor pH	1.263.500	28,6%
2	Menyediakan energi listrik	Dasar	Panel surya 20 Wp, inverter, MCB	1.142.100	25,9%
3	Menggerakkan turbin aerasi	Dasar	Turbin aerator	750.000	17,0%
4	Mengirim dan menampilkan data	Penunjang	Paket pin modul kit, aplikasi IoT, kabel	468.000	10,6%
5	Menopang dan mengapungkan sistem	Penunjang	Besi hollow, plat strip, pipa PVC, penutup pipa, lem, baut	413.000	9,4%
6	Melindungi dan merakit konstruksi	Penunjang	Cat besi, thinner, kuas, jasa pengelasan	377.000	8,5%
Total				4.413.600	100,0%

Berdasarkan Tabel 3, fungsi dasar menyerap Rp1.892.100 (42,9%), sedangkan fungsi penunjang menyerap Rp2.521.500 (57,1%). Temuan yang paling menonjol adalah bahwa fungsi pemantauan kualitas air dan pengiriman data — keduanya fungsi penunjang — bersama-sama menyerap 39,2% dari total biaya, lebih besar daripada gabungan fungsi dasar. Penyebabnya adalah harga sensor DO yang mencapai Rp1.000.000 (22,7%), menjadikannya komponen tunggal termahal.

Dalam kerangka *value engineering*, ketidaksebandingan antara kontribusi fungsional dan biaya inilah yang menjadi sasaran utama perbaikan rancangan, sejalan dengan temuan pada objek lain bahwa komponen berbiaya terbesar belum tentu pendukung fungsi dasar [23], [24]. Peluang perbaikan yang dapat ditempuh antara lain sensor DO berketelitian lebih rendah, satu unit sensor untuk beberapa petak tambak berdekatan, atau penjadwalan pembacaan sensor untuk memperpanjang umur elektroda.

Tahap Kreatif

Tahap kreatif digunakan dalam mendesain alat turbin aerator. Tahapan ini menunjukkan komponen yang akan didesain beserta biaya pembuatan alat. Desain tiga dimensi alat aerator cerdas dibuat menggunakan perangkat lunak CATIA V5 sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain alat aerator tenaga surya berbasis IoT

Desain alat aerator ini terdiri dari panel surya, turbin aerator, kontroler dan sensor, serta pelampung aerator. Panel surya dipasang pada rangka di bagian atas agar memperoleh paparan matahari maksimum sekaligus melindungi kotak kontroler dari air hujan. Turbin ditempatkan di antara dua pelampung pipa PVC yang menjaga kestabilan alat di permukaan air.

Untuk membuat alat aerator tersebut dibutuhkan sejumlah bahan dengan spesifikasi dan harga sebagaimana disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Biaya Bahan Pembuatan Alat Aerator Tenaga Surya

No	Nama Bagian	Vol	Biaya Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
1	Turbin aerator	1	750.000	750.000
2	Panel surya 20 Wp	1	642.100	642.100
3	Inverter 1000 W 12 V	1	457.000	457.000
4	Besi hollow 20×20×1 mm, panjang 6 m	1	111.000	111.000
5	Plat strip 6000×25×2 mm	1	78.000	78.000
6	Pipa PVC 4", panjang 1,5 m	2	49.000	98.000
7	Penutup pipa 4"	4	7.500	30.000
8	Lem pipa PVC	1	21.000	21.000
9	Baut M8×50 (50 pcs)	1	75.000	75.000
10	Sensor DO	1	1.000.000	1.000.000
11	Sensor suhu	1	44.000	44.000
12	Sensor pH	1	219.500	219.500
13	MCB 2 A	1	43.000	43.000
14	Paket pin modul kit	1	300.000	300.000
15	Aplikasi IoT	1	143.000	143.000
16	Cat besi 500 gr	1	55.000	55.000
17	Thinner 1 L	1	18.000	18.000
18	Kuas	1	4.000	4.000
19	Jasa pengelasan	1	300.000	300.000
20	Kabel 5 m	1	25.000	25.000
Total				4.413.600

Pada tahap ini disusun pula alternatif rancangan yang mungkin diterapkan, terutama pada pemilihan sumber energi, jenis turbin, dan tingkat kelengkapan sistem pemantauan. Alternatif-alternatif tersebut selanjutnya dinilai pada tahap evaluasi.

Tahap Evaluasi

Pada tahap evaluasi dilakukan tiga langkah, yaitu penilaian kelebihan dan kekurangan alat, analisis biaya pembuatan, dan analisis biaya kepemilikan total.

Evaluasi Kelebihan dan Kekurangan Alat Aerator

Hasil analisis kelebihan dan kekurangan alat aerator tenaga surya dibandingkan aerator konvensional dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Kelebihan dan Kekurangan Alat Aerator Tenaga Surya

Kelebihan	Kekurangan
Hemat tenaga listrik dan tidak membebani jaringan PLN	Biaya investasi awal untuk komponen elektronik cukup besar
Pemantauan kualitas air secara <i>real-time</i> melalui IoT	Membutuhkan keahlian khusus untuk instalasi dan perawatan
Meningkatkan DO serta membantu menjaga suhu dan pH	Penggunaan pada malam hari terbatas tanpa baterai penyimpan
Ramah lingkungan karena tanpa bahan bakar fosil	Kinerja bergantung pada kondisi cuaca dan intensitas penyinaran

Tabel 5 menunjukkan bahwa kelemahan utama rancangan bersumber dari sifat intermiten energi surya. Hal ini menjadi pertimbangan penting karena penurunan kadar oksigen terlarut pada tambak justru paling sering terjadi pada dini hari,

yaitu saat panel surya tidak menghasilkan daya. Penambahan sistem penyimpanan energi karena itu menjadi kebutuhan yang tidak dapat dihindari apabila alat diharapkan bekerja sepanjang hari.

Analisis Biaya Pembuatan Alat Aerator

Desain alat aerator berbasis tenaga surya membutuhkan biaya yang relatif terjangkau. Rancangan alat aerator tenaga surya pada Gambar 2 digerakkan dengan motor bertenaga 150 W, menggunakan panel surya 20 Wp dan rangka besi hollow berukuran 60×34 cm. Berdasarkan Tabel 4, biaya pembuatan aerator tenaga surya adalah Rp4.413.600. Sebagai pembandingan, aerator konvensional yang umum digunakan petambak ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Mesin Aerator Konvensional

Mesin aerator konvensional pada Gambar 3 digerakkan sepenuhnya dengan tenaga listrik PLN berdaya 750 W, sehingga biaya operasionalnya lebih besar. Harga aerator konvensional di pasaran berkisar Rp5.000.000–Rp6.000.000, dengan rata-rata Rp5.500.000. Perbandingan harga kedua jenis alat disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Harga Alat Aerator

No	Jenis Alat	Harga (Rp)
1	Mesin aerator konvensional	5.500.000
2	Mesin aerator tenaga surya	4.413.600
	Selisih	1.086.400

Berdasarkan Tabel 6 dapat disimpulkan bahwa alat aerator tenaga surya memiliki biaya pembuatan yang lebih murah, dengan selisih Rp1.086.400 atau sekitar 19,8% lebih rendah dibandingkan aerator konvensional. Penghematan pada biaya investasi awal ini terutama diperoleh karena rancangan menggunakan motor berdaya lebih kecil dan rangka yang dibuat sendiri dari bahan lokal.

Analisis Biaya Kepemilikan Total

Perbandingan harga pembelian saja belum mencerminkan keunggulan ekonomi rancangan secara utuh, karena aerator konvensional masih menimbulkan biaya listrik bulanan. Dengan menggunakan Persamaan (2) dan asumsi biaya listrik rata-rata Rp675.000 per unit per bulan serta masa peninjauan lima tahun (60 bulan), diperoleh perbandingan biaya kepemilikan total sebagaimana disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan Biaya Kepemilikan Total Selama Lima Tahun

Komponen Biaya	Aerator Konvensional (Rp)	Aerator Tenaga Surya (Rp)
Investasi awal	5.500.000	4.413.600
Biaya listrik per bulan	675.000	0
Biaya listrik selama 60 bulan	40.500.000	0
Biaya kepemilikan total	46.000.000	4.413.600

Tabel 7 menunjukkan bahwa selama lima tahun pemakaian, aerator tenaga surya menghasilkan penghematan sebesar Rp41.586.400 atau 90,4% dibandingkan aerator konvensional, sejalan dengan temuan bahwa substitusi energi konvensional dengan energi terbarukan pada peralatan budidaya memberikan dampak ekonomi signifikan dalam jangka

menengah [3], [6]. Perhitungan ini belum memperhitungkan biaya perawatan berkala, penggantian elektroda sensor, dan penggantian baterai apabila sistem penyimpanan ditambahkan.

Analisis Kebutuhan Daya dan Kapasitas Panel Surya

Kelayakan teknis rancangan ditentukan oleh kesesuaian antara kapasitas panel surya dan kebutuhan energi motor turbin. Dengan Persamaan (3), kebutuhan energi harian motor 150 W selama 8 jam per hari adalah 1.200 Wh. Dengan asumsi PSH 4 jam dan efisiensi sistem 80%, Persamaan (4) menghasilkan kapasitas panel yang dibutuhkan sebesar 375 Wp — jauh di atas panel 20 Wp pada rancangan awal yang hanya memanen sekitar 64 Wh per hari (5,3% dari kebutuhan motor).

Apabila sistem penyimpanan energi ditambahkan agar aerator dapat beroperasi pada malam hari, kapasitas baterai yang dibutuhkan untuk menyuplai 1.200 Wh dengan tegangan sistem 12 V dan kedalaman pengosongan 50% adalah sekitar 200 Ah. Penambahan komponen ini akan menaikkan biaya investasi awal, sehingga analisis *value engineering* perlu diulang untuk memastikan nilai rancangan tetap lebih unggul dibandingkan aerator konvensional.

Tahap Pengembangan

Pada tahap ini dibuat alat aerator terpilih dengan spesifikasi akhir sebagaimana disajikan pada Tabel 8. Pemilihan spesifikasi didasarkan pada hasil analisis fungsi, evaluasi kelebihan dan kekurangan, serta pertimbangan biaya kepemilikan total.

Tabel 8. Spesifikasi Akhir Aerator Tenaga Surya Berbasis IoT

No	Komponen	Spesifikasi
1	Motor turbin	Motor listrik satu fase, daya 150 W
2	Sumber energi	Panel surya 20 Wp dengan inverter 1000 W 12 V
3	Pelampung	Pipa PVC 4 inci, panjang 1,5 m, dua unit
4	Rangka	Besi hollow 20 × 20 × 1 mm, ukuran rangka 60 × 34 cm
5	Sensor	Sensor DO, sensor suhu, dan sensor pH
6	Sistem pemantauan	Modul kendali berbasis mikrokontroler dengan aplikasi IoT
7	Pengaman	MCB 2 A
8	Biaya pembuatan	Rp4.413.600 per unit

Nilai rancangan dihitung menggunakan Persamaan (1) dengan membandingkan performansi terhadap biaya. Karena aerator tenaga surya memenuhi seluruh fungsi dasar yang sama dengan aerator konvensional, sekaligus menambahkan fungsi pemantauan kualitas air secara *real-time*, dan dilakukan pada biaya kepemilikan yang jauh lebih rendah, maka nilai rancangan usulan lebih tinggi dibandingkan alat pembanding. Dengan demikian tujuan *value engineering*, yaitu meningkatkan nilai melalui kenaikan performansi disertai penurunan biaya, telah tercapai pada rancangan ini.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Rancangan aerator tambak bertenaga surya berbasis IoT yang memanfaatkan motor listrik satu fase, pelampung pipa PVC 4 inci, serta sensor DO, suhu, dan pH berhasil dikembangkan dengan total biaya pembuatan sebesar Rp4.413.600—lebih hemat Rp1.086.400 (19,8%) dibandingkan aerator konvensional sebesar Rp5.500.000. Analisis fungsi menunjukkan bahwa fungsi dasar menyerap 42,9% biaya sementara fungsi penunjang menyerap 57,1%, dengan fungsi pemantauan kualitas air dan pengiriman data sebagai penyerap biaya terbesar (39,2%) yang menjadi sasaran utama perbaikan nilai pada pengembangan selanjutnya. Ditinjau dari biaya kepemilikan total selama lima tahun, aerator ini mampu menghasilkan penghematan hingga Rp41.586.400 (90,4%) karena meniadakan biaya listrik bulanan, sekaligus menawarkan keunggulan pemantauan kualitas air secara *real-time* via IoT yang meningkatkan nilai keseluruhan rancangan secara signifikan.

Saran

1. Diperlukan perhitungan ulang kesesuaian antara kapasitas panel surya dan daya motor turbin, disertai penambahan sistem penyimpanan baterai beserta *solar charge controller*, agar aerator dapat beroperasi optimal pada malam hari dan saat cuaca mendung.

2. Perlu dilakukan pengujian lapangan selama satu siklus budidaya penuh untuk memvalidasi kinerja aerator terhadap kadar DO, suhu, dan pH air tambak, serta mengukur dampaknya terhadap tingkat kelulusan hidup biota.
3. Pengembangan lanjutan disarankan mengeksplorasi alternatif sensor DO yang lebih ekonomis atau skema berbagi satu unit sensor untuk beberapa petak tambak, mengingat komponen tersebut merupakan penyerap biaya terbesar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi melalui Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan, khususnya Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat atas dukungan pendanaan yang diberikan pada penelitian ini melalui skema Penelitian Dosen Pemula dengan nomor kontrak 02.06/071/LL6/PL/AL.04/LPPM/2025. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada LPPM ITSNU Pekalongan, Program Studi Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, atas penggunaan fasilitas laboratorium selama proses perancangan, serta kepada kelompok petambak di wilayah pesisir Pekalongan yang telah bersedia menjadi mitra dalam pengambilan data lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. A. Marfai, D. Mardiatno, A. Cahyadi, and F. Nucifera, "Pemodelan spasial bahaya banjir rob berdasarkan skenario perubahan iklim dan dampaknya di pesisir Pekalongan," *Bumi Lestari*, vol. 13, no. 2, pp. 244–256, 2017.
- [2] M. N. Khaqiqi and Syamsuddin, "Dampak banjir rob terhadap perekonomian dan strategi pengembangan wisata," *Forum Ekonomi*, vol. 23, no. 2, pp. 295–301, 2021.
- [3] M. Alfian Mizar, *et al.*, "Implementasi splash aerator energi angin bagi petani tambak udang di Kecamatan Paciran Kabupaten Lamongan Jawa Timur," in *Prosiding Seminar Nasional Hasil Pengabdian kepada Masyarakat*, no. 1, 2019.
- [4] P. Mahadi Sihombing, *et al.*, "Prototipe pengawasan dan pengontrolan aerator untuk budidaya udang berbasis IoT," *Jurnal Vorteks*, vol. 4, no. 1, pp. 264–271, 2023. <https://doi.org/10.54123/vorteks.v4i1.265>.
- [5] I. Hasyim Rosma, *et al.*, "Penerapan aerator jenis kincir untuk keberlanjutan suplai oksigen terlarut pada pertanian tambak udang," *Jurnal Sinergitas PKM & CSR*, vol. 5, no. 1, p. 392, 2021. <https://doi.org/10.19166/jspc.v5i1.1759>.
- [6] R. Amirillah, *et al.*, "Rancang bangun sistem pompa aerator tenaga surya untuk suplai oksigen kolam lele metode algoritma incremental conductance," pp. 31–32, 2023.
- [7] D. Ansarullah and H. Nurwarsito, "Monitoring kualitas air pada tambak udang berbasis Internet of Things dengan protokol komunikasi ZigBee," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 6, no. 2, pp. 615–624, 2022.
- [8] A. Lestari and A. Zafia, "Penerapan sistem monitoring kualitas air berbasis Internet of Things," *LEDGER: Journal Informatic and Information Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 17–24, 2022. <https://doi.org/10.20895/ledger.v1i1.776>.
- [9] Y. P. Wijayanti, M. Wijayaningtyas, and M. Erfan, "Analisis rekayasa nilai (value engineering) pada proyek Jembatan Pelayangan Kecamatan Longkip Kota Subulussalam," *Student Journal Gelagar*, vol. 5, no. 1, pp. 57–62, 2023.
- [10] M. Hastarina, A. A. Masruri, and S. A. Saputra, "Perancangan mesin peleleh biji plastik sebagai alternatif pengolahan limbah plastik dengan penerapan metode value engineering," vol. 2, 2019.
- [11] G. Djoyowasito, A. Ahmad, and A. Khasanah, "Rancang bangun sistem aerator tambak udang bertenaga bayu," *Jurnal Keteknikan Pertanian Tropis dan Biosistem*, vol. 7, no. 2, 2019.
- [12] N. P. A. Nugraha, M. Agus, and T. Y. Mardiana, "Rekayasa kincir air pada tambak udang vannamei (*Litopenaeus vannamei*) di Tambak Unikol Slamaran," *Jurnal Pena Akuatika*, vol. 16, no. 1, pp. 103–115, 2017.
- [13] Nuryanti, B. Dwiartomo, and A. Ruswandi, "Analisis daya yang dihasilkan turbin angin tipe windmill pada sistem aerasi tambak udang," *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Manufaktur*, vol. 1, no. 1, pp. 47–58, 2019.
- [14] H. Muyasaroh, I. R. Islamy, A. S. R. Fakhry, and M. Ismail, "Sistem pendeteksi kualitas air berbasis IoT pada budidaya tambak di Desa Karangrejo, Kabupaten Demak," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 1, 2025.
- [15] S. Melangi, M. Asri, and S. A. Hulukati, "Sistem monitoring informasi kualitas dan kekeruhan air tambak berbasis Internet of Things," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 4, no. 1, pp. 77–82, 2022. <https://doi.org/10.37905/jjee.v4i1.12061>.

- [16] G. Wiranto and I. D. P. Hermida, "Pembuatan sistem monitoring kualitas air secara real time dan aplikasinya dalam pengelolaan tambak udang," *Teknologi Indonesia*, vol. 33, no. 2, pp. 107–113, 2010.
- [17] P. Kusriani, G. Wiranto, I. Syamsu, and L. Hasanah, "Sistem monitoring online kualitas air akuakultur untuk tambak udang menggunakan aplikasi berbasis Android," *Jurnal Elektronika dan Telekomunikasi*, vol. 16, no. 2, p. 25, 2016. <https://doi.org/10.14203/jet.v16.25-32>.
- [18] G. A. Pauzi, M. A. Syafira, A. Surtono, and A. Supriyanto, "Aplikasi IoT sistem monitoring kualitas air tambak udang menggunakan aplikasi Blynk berbasis Arduino Uno," *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, vol. 5, no. 2, pp. 1–8, 2017.
- [19] Z. Zainuddin, A. Azis, and R. Idris, "Sistem monitoring kualitas air pada budidaya udang vannamei berbasis wireless sensor network di Dusun Taipa Kecamatan Mappakasunggu Kabupaten Takalar," *Jurnal Techno Entrepreneur Acta*, vol. 1, no. 2, pp. 1–6, 2015.
- [20] A. R. Hakimi, M. Rivai, and H. Pirngadi, "Sistem kontrol dan monitor kadar salinitas air tambak berbasis IoT LoRa," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 10, no. 1, 2021.
- [21] H. A. Yanti, D. A. Putri, and S. Z. Fajriyah, "Simulasi sistem monitoring oksigen terlarut (DO) pada budidaya udang vaname berbasis Internet of Things (IoT)," *Jurnal Informatics and Communication Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 57–67, 2023.
- [22] A. Kusumastuti Hendrawan, "Penerapan value engineering pada pengembangan produk sepatu running artikel Alfieri untuk efisiensi biaya material," in *Prosiding Seminar Nasional Edusainstek*, 2019, pp. 95–103.
- [23] M. I. Thurmudhi and B. I. Putra, "Analisa biaya pembuatan alat pengemasan tempe dengan metode value engineering," *Matrik: Jurnal Manajemen dan Teknik Industri Produksi*, vol. 24, no. 2, p. 143, 2024. <https://doi.org/10.30587/matrik.v24i2.6352>.
- [24] M. R. Armayanda and M. F. Pasaribu, "Penerapan value engineering untuk menghemat biaya produksi sapu ijuk pada UD. Maju Jaya," *JURUTERA – Jurnal Umum Teknik Terapan*, vol. 4, no. 2, pp. 7–11, 2019.
- [25] A. A. D. P. Dewi, N. M. Jaya, and N. P. E. Trisnayanthy, "Analisis penerapan rekayasa nilai (value engineering) pada proyek pembangunan Villa Holly Pecatu," *Jurnal Spektran*, vol. 12, no. 1, 2024.
- [26] K. Bahri and R. Indryani, "Penerapan rekayasa nilai (value engineering) pekerjaan arsitektural pada proyek pembangunan Transmart Carrefour Padang," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 7, no. 1, pp. 1–6, 2018.
- [27] Harmoko, Y. I. Tachiriri, M. Al'amin, H. Harinugroho, and Z. Ma'arif, "Pemberdayaan masyarakat tambak melalui inovasi aerator cerdas berbasis IoT dan energi surya di daerah pesisir," *Jurnal SOLMA*, vol. 14, no. 3, pp. 4776–4783, 2025. <https://doi.org/10.22236/solma.v14i3.20918>.
- [28] R. S. Wahyuni, R. Rahmi, and H. Hamsah, "Efektivitas oksigen terlarut terhadap pertumbuhan dan sintasan udang vaname (*Litopenaeus vannamei*)," *Jurnal Perikanan Unram*, vol. 12, no. 4, pp. 536–543, 2022.
- [29] Supriatna, M. Mahmudi, M. Musa, and Kusriani, "Model of pH and its relationship with water quality parameters in intensive vannamei shrimp (*Litopenaeus vannamei*) ponds in Banyuwangi, East Java," *Journal of Fisheries and Marine Research*, vol. 4, no. 3, pp. 368–374, 2020.
- [30] Kementerian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia, Keputusan Menteri Kelautan dan Perikanan Nomor 15 Tahun 2022 tentang Pedoman Umum Pembesaran Udang Vaname (*Litopenaeus vannamei*), 2022.
- [31] H. Ariadi, A. Wafi, and B. D. Madusari, *Dinamika Oksigen Terlarut (Studi Kasus pada Budidaya Udang)*. Jawa Barat: Penerbit Adab, 2021.
- [32] S. Akbar, "Monitoring automatic transfer switch dan baterai berbasis IoT menggunakan mikrokontroler AVR dan ESP32," *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, vol. 11, no. 2, pp. 51–60, 2022. <https://doi.org/10.14710/transient.v11i2.51-60>.