JURNAL REKAYASA INFRASTRUKTUR
ISSN : 2460-335X
E-ISSN : 2686-6587
Vol 11 No 2 November 2025

OPTIMASI BIAYA REHABILITASI SALURAN IRIGASI DENGAN PENDEKATAN VALUE ENGINEERING MENGGUNAKAN METODE PAIRED COMPARISON

Mario Ferdiansyah[1*], Mahdika Putra Nanda[2], Nono Suhana dan Sunaryo[3]
[1]Program Studi Teknik Sipil, Universitas Wiralodra, Kecamatan Indramayu
*Marioferdiansyah91@gmail.com

ABSTRACT

The rehabilitation of irrigation channels is essential to improving the efficiency of agricultural water distribution. This study analyzes alternative irrigation channel designs in the D.I Macan Subang project using a Value Engineering (VE) approach with the Paired Comparison method. The existing design uses U-Ditch, which was compared to three alternatives: stone masonry, conventional ferroconcrete, and geomembrane. The analysis shows that the geomembrane provides the highest cost efficiency, with a total cost of IDR 562,075,772.46, resulting in savings of IDR 203,807,083.26 (26.61%) compared to the existing U-Ditch design. The Paired Comparison method effectively evaluates alternatives based on cost and technical criteria. This research contributes to cost-efficient decision-making for irrigation.

Keywords: Value Engineering; Paired Comparison; Irrigation; U-Ditch, Conventional Concrete, Cost Efficiency

ABSTRAK

Rehabilitasi saluran irigasi merupakan bagian penting dalam meningkatkan efisiensi distribusi air pertanian. Penelitian ini menganalisis alternatif desain saluran irigasi pada proyek D.I Macan Subang menggunakan pendekatan Value Engineering (VE) dengan metode Paired Comparison. Desain eksisting menggunakan UDitch, kemudian dibandingkan dengan tiga alternatif yaitu pasangan batu, beton konvensional ferosemen, dan geomembrane. Hasil analisis menunjukkan bahwa geomembrane memberikan efisiensi biaya tertinggi dengan total biaya Rp562.075.772,46, menghemat Rp203.807.083,26 (26,61%) dibandingkan desain eksisting UDitch. Metode Paired Comparison terbukti efektif dalam mengevaluasi alternatif berdasarkan biaya dan kriteria teknis. Penelitian ini memberi kontribusi dalam pengambilan keputusan desain irigasi berbasis efisiensi biaya.

Kata kunci: Value Engineering; Paired Comparison; Irigasi; U-Ditch; Beton Konvensional; Efisiensi Biaya

1. PENDAHULUAN

Perencanaan dan rehabilitasi saluran irigasi merupakan aspek krusial dalam menjaga ketahanan pangan, distribusi air yang merata, serta efektivitas biaya infrastruktur pertanian. Infrastruktur irigasi yang mengalami penurunan fungsi teknis seperti kebocoran, sedimentasi, dan ketidaksesuaian dimensi saluran dapat mengakibatkan distribusi debit air yang tidak optimal dan berdampak negatif terhadap produktivitas pertanian. Penelitian evaluasi efektivitas rehabilitasi saluran primer menunjukkan bahwa kondisi distribusi air sering tidak mencukupi kebutuhan debit terutama di titik-titik hilir, meskipun telah dilakukan upaya rehabilitasi teknis (misalnya dengan pemodelan hidraulik) untuk memahami neraca air pasca-rehabilitasi [1]. Berdasarkan hal itu pengendalian biaya dan peningkatan fungsi teknis menjadi prioritas utama dalam perencanaan proyek rehabilitasi saluran irigasi.

Dalam industri konstruksi infrastruktur, metode Value Engineering (VE) telah diakui sebagai pendekatan sistematis untuk mengidentifikasi dan mengeliminasi biaya yang tidak perlu tanpa mengurangi fungsi yang diperlukan, melalui analisis fungsi, kreativitas, evaluasi dan rekomendasi alternatif desain atau metode pelaksanaan. Berbagai studi pada proyek konstruksi, seperti pada struktur beton, gedung, jalan dan jembatan, dan drenase menunjukkan bahwa penerapan VE dapat menghasilkan penghematan biaya signifikan, misalnya melalui perubahan desain dan pemilihan material yang lebih efektif sementara mempertahankan aspek mutu dan fungsi teknis pada tingkat yang diperlukan [2]. Namun, sebagian besar penelitian ini masih berfokus pada proyek umum (*building, road, parking, drainage*) dan masih belum banyak yang meneliti secara spesifik penerapan VE pada rehabilitasi saluran irigasi dalam konteks ketidakteraturan distribusi debit, fungsi hidraulik serta aspek biaya siklus hidup (life cycle cost) yang terintegrasi dengan kondisi jaringan irigasi nyata.

Terkait dengan aplikasi VE dalam proyek irigasi, beberapa kajian telah mengadopsi pendekatan VE untuk mengevaluasi metode kerja dan desain kanal utama dalam proyek irigasi pasca-bencana, menunjukkan efisiensi biaya dan durasi yang meningkat melalui alternatif metode pelaksanaan [3]. Selain itu, studi VE telah digunakan pada sistem drainase irigasi untuk memilih material dan desain yang lebih efisien biaya, meskipun banyak studi ini masih berfokus pada pemilihan material dan tidak secara eksplisit menggabungkan metode keputusan yang sistematik untuk mempertimbangkan berbagai kriteria seperti biaya, fungsi, waktu dan kualitas secara bersamaan [4]. Penelitian lain bahkan mengembangkan kerangka kerja berbasis VE untuk menilai kinerja komponen skema irigasi secara menyeluruh, namun ini masih bersifat eksploratif dan jarang dihubungkan secara langsung dengan pengambilan keputusan desain rehabilitasi berdasarkan kriteria multi-aspek [5]

Walaupun metode VE telah diadopsi dalam berbagai jenis proyek konstruksi dan telah menunjukkan potensi penghematan biaya dan peningkatan nilai fungsi, apa yang telah diketahui (known) masih terbatas pada bukti empiris VE pada proyek infrastruktur umum serta beberapa kasus irigasi, namun apa yang masih belum diketahui (unknown) adalah bagaimana memadukan VE dengan algoritma pengambilan keputusan yang lebih objektif seperti metode Paired Comparison untuk menghasilkan pemilihan alternatif rehabilitasi yang lebih terstruktur, transparan, dan kurang bias terhadap penilaian subjektif. Metode Paired Comparison sendiri telah digunakan dalam penelitian konstruksi lain untuk menilai alternatif desain secara sistematis, menghasilkan bobot nilai yang dapat dibandingkan secara kuantitatif antar alternatif [6] Namun, aplikasinya secara luas pada proyek rehabilitasi saluran irigasi masih sangat terbatas, khususnya dalam mengintegrasikan kriteria biaya, fungsi saluran, kemudahan pelaksanaan, dan kinerja hidraulik sekaligus dalam satu model keputusan.

Selain itu, penelitian literatur juga menunjukkan kurangnya studi yang menerapkan VE untuk mengoptimumkan biaya rehabilitasi saluran irigasi dengan mempertimbangkan aspek biaya siklus hidup, serta evaluasi yang terukur berdasarkan kinerja fungsional sistem irigasi itu sendiri dibandingkan dengan pendekatan tradisional yang hanya menilai biaya konstruksi awal tanpa mempertimbangkan efek jangka Panjang [7]. Hal ini menunjukkan gap signifikan di bidang penelitian dan praktik. Di samping itu, berbagai literatur review VE pada konstruksi menunjukkan bahwa manfaat VE sering belum diukur secara kuantitatif dalam konteks penilaian multi-aspek

fungsi dan biaya dalam proyek teknis spesifik seperti jaringan irigasi, sehingga keandalan keputusan alternatif sering menjadi tantangan [8].

Dengan demikian, penelitian ini berupaya mengisi celah tersebut dengan mengeksplorasi optimasi biaya rehabilitasi saluran irigasi D.I Macan Subang melalui pendekatan VE yang digabungkan dengan metode Paired Comparison, sehingga tidak hanya menilai alternatif berdasarkan biaya saja tetapi juga mempertimbangkan berbagai indikator fungsi teknis dan kinerja hidraulik. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah berupa model pengambilan keputusan yang lebih objektif dan aplikatif dalam konteks rehabilitasi irigasi, serta kontribusi praktis berupa rekomendasi desain yang optimal secara biaya dan fungsi untuk pengelolaan infrastruktur irigasi yang berkelanjutan

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian menjelaskan secara rinci tahapan penelitian dari mulai persiapan sampai penarikan kesimpulan. Prosedur analisis, sumber data, teknik pengumpulan data, dan teknik analisis juga perlu dipaparkan secara jelas dan berurutan sesuai urutan pelaksanaan penelitian. Penulis diperkenankan mencantumkan diagram alir penelitian.

Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif–komparatif dengan penerapan Value Engineering (VE) sebagai kerangka utama analisis. Pendekatan ini bertujuan untuk mengoptimalkan biaya rehabilitasi saluran irigasi dengan tetap mempertahankan fungsi teknis dan kinerja sistem. Studi dilakukan pada proyek rehabilitasi saluran tersier di Daerah Irigasi (D.I) Macan Subang, dengan membandingkan desain eksisting dan beberapa alternatif desain saluran.

Value Engineering diterapkan secara terfokus pada Fase Evaluasi dan Fase Pengembangan, karena pada fase ini dilakukan penilaian alternatif desain berdasarkan fungsi, biaya, risiko, dan kemudahan pelaksanaan. Untuk mendukung proses pengambilan keputusan secara objektif, digunakan metode Paired Comparison sebagai alat bantu evaluasi alternatif.

Objek dan Alternatif Penelitian

Objek penelitian adalah saluran irigasi tersier pada D.I Macan Subang yang pada kondisi eksisting menggunakan saluran U-Ditch pracetak. Berdasarkan kajian teknis dan ketersediaan metode konstruksi yang umum digunakan di lapangan, ditetapkan empat alternatif desain saluran yang dianalisis, yaitu:

1. Saluran U-Ditch pracetak (eksisting),
2. Saluran pasangan batu,
3. Saluran beton konvensional (ferosemen),
4. Saluran dengan lapisan geomembrane HDPE.

Keempat alternatif tersebut dipilih karena mewakili metode konvensional hingga modern, memiliki karakteristik teknis yang berbeda, serta memungkinkan dilakukan perbandingan biaya dan konstruktabilitas secara kuantitatif.

Tahapan Value Engineering

Tahapan Value Engineering dalam penelitian ini meliputi:

1. Tahap Informasi
   Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data teknis dan biaya proyek, meliputi gambar rencana, volume pekerjaan, spesifikasi teknis, serta harga satuan pekerjaan. Data tersebut digunakan untuk menyusun Rencana Anggaran Biaya (RAB) pada masing-masing alternatif desain.
2. Tahap Analisis Fungsi
   Fungsi utama saluran irigasi dianalisis, yaitu menyalurkan air secara efisien dan aman dengan kehilangan debit minimum. Fungsi pendukung meliputi kemudahan pelaksanaan, ketahanan terhadap kebocoran, dan umur layanan.
3. Tahap Kreatif
   Pada tahap ini dikembangkan alternatif desain saluran irigasi yang dapat memenuhi fungsi utama dengan potensi biaya lebih rendah dibandingkan desain eksisting.
4. Tahap Evaluasi dan Pengembangan
   Tahap ini menjadi fokus utama penelitian, yaitu melakukan evaluasi kuantitatif terhadap biaya dan konstruktabilitas setiap alternatif, serta menentukan alternatif terbaik menggunakan metode Paired Comparison.

Analisis Biaya

Analisis biaya dilakukan dengan menghitung **total biaya pelaksanaan** untuk masing-masing alternatif desain berdasarkan volume pekerjaan dan harga satuan. Total biaya setiap alternatif dihitung menggunakan persamaan:

$$C_{total} = \sum_{i=1}^{n} (V_i \times H_i) \quad (1)$$

dengan:

C_{total} = total biaya pekerjaan (Rp),
V_i = volume pekerjaan ke-i,
H_i = harga satuan pekerjaan ke-i (Rp),
n = jumlah item pekerjaan.

Hasil perhitungan biaya total digunakan untuk membandingkan efisiensi antar alternatif dan sebagai dasar penilaian dalam metode Paired Comparison.

Analisis Efisiensi Biaya

Efisiensi biaya dihitung dengan membandingkan biaya alternatif terhadap biaya desain eksisting (U-Ditch). Persentase efisiensi biaya dihitung menggunakan persamaan:

$$Efisiensi(\%) = \frac{C_{eksisting} - C_{alternatif}}{C_{eksisting}} \times 100\% \quad (2)$$

dengan:
$C_{eksisting}$= total biaya desain eksisting (Rp),
$C_{alternatif}$= total biaya alternatif desain (Rp).

Nilai efisiensi ini menunjukkan besarnya penghematan biaya yang diperoleh dari penerapan alternatif desain dibandingkan desain awal.

Metode Paired Comparison
Untuk menentukan alternatif terbaik secara sistematis dan mengurangi subjektivitas, digunakan metode Paired Comparison. Metode ini membandingkan setiap alternatif secara berpasangan berdasarkan kriteria utama efisiensi biaya, serta didukung oleh pertimbangan kemudahan pelaksanaan dan keandalan teknis.
Penilaian dilakukan menggunakan skala numerik sebagai berikut:
5 = biaya jauh lebih rendah (penghematan sangat signifikan),
3 = biaya lebih rendah (penghematan moderat),
1 = biaya sama atau lebih tinggi (tidak ada penghematan).
Setiap alternatif dibandingkan satu per satu dengan alternatif lainnya, kemudian diberikan skor sesuai hasil perbandingan. Skor total setiap alternatif dihitung dengan persamaan:

$$S_j = \sum_{k=1}^{m} a_{jk} \quad (3)$$

dengan:
S_j= skor total alternatif ke-j,
a_{jk}= nilai perbandingan alternatif ke-j terhadap alternatif ke-k,
m= jumlah alternatif.

Alternatif dengan skor tertinggi dianggap memiliki nilai terbaik dan direkomendasikan sebagai solusi optimal dalam rehabilitasi saluran irigasi.
Kriteria Penentuan Alternatif Terbaik
Alternatif terbaik ditentukan berdasarkan:

1. Nilai total biaya terendah,
2. Persentase efisiensi biaya tertinggi,
3. Skor tertinggi dari metode Paired Comparison,
4. Kelayakan teknis dan kemudahan pelaksanaan di lapangan.

Kombinasi keempat kriteria tersebut memastikan bahwa alternatif terpilih tidak hanya ekonomis, tetapi juga layak secara teknis dan operasional.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan Manfaat, Risiko, dan Konstruktabilitas Alternatif
Perbandingan manfaat, risiko, dan konstruktabilitas dilakukan terhadap empat alternatif desain saluran irigasi, yaitu U-Ditch pracetak (eksisting), pasangan batu, beton konvensional

(ferosemen), dan geomembrane HDPE. Analisis ini bertujuan untuk melihat implikasi teknis dan non-teknis dari masing-masing metode terhadap biaya, durasi pelaksanaan, serta risiko pekerjaan di lapangan.

Metode pasangan batu dilaksanakan secara manual oleh tenaga kerja, dengan produktivitas rata-rata hanya sekitar 10–15 meter per hari per tim. Produktivitas yang relatif rendah ini menyebabkan durasi pelaksanaan menjadi lebih panjang dibandingkan metode pracetak, sehingga berdampak pada meningkatnya biaya tenaga kerja serta potensi keterlambatan jadwal apabila pengawasan tidak dilakukan secara ketat. Sebagai pembanding, metode U-Ditch pracetak mampu mencapai produktivitas hingga ±50 meter per hari. Oleh karena itu, penggunaan pasangan batu perlu mempertimbangkan secara cermat biaya tidak langsung yang timbul akibat lamanya waktu pelaksanaan dan risiko ketidaksesuaian jadwal proyek.

Metode beton konvensional ferosemen menawarkan karakteristik konstruksi yang lebih ringan dan fleksibel dibandingkan pasangan batu. Pelaksanaannya tidak memerlukan alat berat dan hanya menggunakan material utama berupa wiremesh dan mortar. Kondisi ini mengurangi kebutuhan peralatan seperti crane atau excavator. Dengan produktivitas sekitar 20–25 meter per hari, durasi pelaksanaan ferosemen relatif lebih singkat dibandingkan pasangan batu, sehingga berimplikasi pada biaya tidak langsung yang lebih rendah dan efisiensi penjadwalan yang lebih baik.

Sementara itu, geomembrane HDPE menunjukkan keunggulan dari sisi fleksibilitas dan ketahanan terhadap tekanan air. Material ini dapat dipasang mengikuti kontur tanah tanpa memerlukan persiapan subgrade secara ekstensif. Dengan demikian, pekerjaan perataan dan pemadatan tanah dapat dikurangi secara signifikan, yang berdampak pada pengurangan biaya pekerjaan tanah hingga sekitar 10–20%. Selain itu, geomembrane memiliki kemampuan elongasi ≥700%, sehingga mampu meredam penurunan diferensial tanah dan menurunkan risiko kebocoran. Kondisi ini berimplikasi pada rendahnya kebutuhan perbaikan dan biaya perawatan jangka panjang. Ringkasan risiko teknis dari masing-masing alternatif ditampilkan pada Tabel 1

Tabel 1. Ringkasan Risiko Teknis Alternatif Saluran

Alternatif	Risiko Teknis	Implikasi terhadap Nilai
Pasangan Batu	Membutuhkan tenaga kerja terampil; potensi kesalahan pemasangan	Kualitas bervariasi, biaya perbaikan tinggi, nilai efisiensi rendah
Beton Konvensional	Kontrol mutu mortar sulit; rawan retak mikro jika curing buruk	Risiko kerusakan dini dan biaya perawatan meningkat
Geomembrane	Potensi tusukan/robek saat pemasangan; sensitif terhadap alat berat	Perlu pengawasan ketat, namun risiko bocor relatif kecil jika pemasangan tepat

Analisis Biaya dan Tahapan Value Engineering

Analisis Value Engineering dilakukan dengan membandingkan efisiensi biaya dari desain eksisting dan alternatif melalui perhitungan total biaya berdasarkan volume pekerjaan dan harga satuan. Rincian biaya untuk masing-masing metode saluran disajikan pada Tabel 2 hingga Tabel 4.

Tabel 2. Rincian Biaya Pekerjaan U-Ditch (Eksisting)

No.	Pekerjaan	Harga (Rp.)
1.	Pekerjaaan Mobilisasi dan Demobilisasi	21.105.000,00
2.	Kistdam menggunakan Karung Goni Uk. 45 x 120 cm (Isi Tanah)	46.201.716,40
3.	Pengoperasian Pompa (Dewatering)	1.693.440,00
4.	Galian tanah biasa sedalam 1 m (Manual)	44.185.156,44
5.	Timbunan Sirtu	33.160.807,55
6.	Pengadaan dan Pemasangan U-Ditch (0,6 x 0,8)	527.660.730,00
7.	Timbunan Tanah atau Urugan Kembali	91.876.005,33
Total		765.882.855,72

Berdasarkan Tabel 2, komponen biaya terbesar pada metode U-Ditch berasal dari pengadaan dan pemasangan elemen pracetak, yang mendominasi lebih dari setengah total biaya pekerjaan. Tingginya biaya ini menunjukkan bahwa meskipun metode U-Ditch memiliki produktivitas pemasangan yang tinggi, ketergantungan pada elemen pracetak dan pekerjaan pendukung seperti galian, timbunan, serta dewatering menyebabkan total biaya pelaksanaan relatif besar. Kondisi ini membuka peluang optimasi biaya melalui alternatif desain dengan kebutuhan material struktural yang lebih sederhana

Tabel 3. Rincian Biaya Pekerjaan Pasangan Batu

No.	Pekerjaan	Harga (Rp.)
1.	Pekerjaan Mobilisasi dan Demobilisasi	21.105.000,00
2.	Kistdam menggunakan Karung Goni Uk. 45 x 120 cm (Isi Tanah)	40.137.120,00
3.	Pengoperasian Pompa (Dewatering)	6.773.760,00
4.	Galian tanah biasa sedalam 1 m (Manual)	10.740.508,8
5.	Pekerjaan Pasangan Batu	530.768.359,68
6.	Pekerjaan Siaran	9.168.622,32
7.	Pekerjaan Plesteran 1 SP : 3 PP, Tebal 15mm	126.517.140,00
8.	Timbunan Tanah dan Urugan Kembali	91.876.005,33
Total		843.845.155,80

Tabel 3 menunjukkan bahwa biaya pekerjaan pasangan batu didominasi oleh pekerjaan struktur pasangan dan plesteran, yang memerlukan volume tenaga kerja besar serta waktu pelaksanaan yang panjang. Selain itu, adanya pekerjaan tambahan seperti siaran dan plesteran menyebabkan total biaya menjadi paling tinggi dibandingkan alternatif lainnya. Hal ini mengindikasikan bahwa metode pasangan batu kurang efisien dari sisi biaya dan durasi, meskipun masih umum digunakan karena ketersediaan material dan metode kerja yang sederhana.

Tabel 4. Rincian Biaya Pekerjaan Beton Konvensional (Ferosemen)

No.	Pekerjaan	Harga (Rp.)
1.	Mobilisasi dan Demobilisasi	21.105.000,00
2.	Kistdam menggunakan Karung Goni Uk. 45 x 120 cm (Isi Tanah)	40.137.120,00
3.	Pengoperasian Pompa (*Dewatering)*	1.209.600,00
4.	Galian Tanah Sedalam 1 m (Manual)	24.948.414,96
5.	Pemadatan Dasar Saluran	26.636.628,00
6.	Pemasangan Sand Cushion (Pasir Halus)	9.096.405,00
7.	Pemasangan Geotextile NonWoven	168.574.518,00
8.	Pemasangan Geomembrane HDPE 1 mm	201.837.025,00
9.	Pengujian Kebocoran (Leak Test)	53.767.966,00
10.	Timbunan Tanah Kembali (Urugan Samping)	12.763.095,50
Total		562.075.772,46

Berdasarkan Tabel 4, biaya terbesar pada metode beton konvensional berasal dari pemasangan wiremesh dan aplikasi mortar, serta tambahan biaya curing dan perawatan. Meskipun total biaya beton konvensional lebih rendah dibandingkan U-Ditch dan pasangan batu, kebutuhan pekerjaan perawatan dan kontrol mutu yang ketat berpotensi menambah biaya tidak langsung apabila pelaksanaan tidak optimal. Dengan demikian, metode ini menunjukkan efisiensi biaya menengah dengan keunggulan pada fleksibilitas desain dan kekuatan struktural.

Tabel 5. Rincian Biaya Pekerjaan Geomembrane

Pekerjaan	Total Biaya (Rp)
U-Ditch (eksisting)	765.882.855,72
Pasangan Batu	843.845.155,80
Beton Konvensional	727.691.506,00
Geomembrane	562.075.772,46

Tabel 5 menunjukkan bahwa metode geomembrane memiliki total biaya terendah dibandingkan seluruh alternatif yang dianalisis. Komponen biaya utama berasal dari pengadaan geomembrane dan geotekstil, namun dapat diimbangi dengan pengurangan signifikan pada pekerjaan struktur, galian, dan perawatan. Minimnya kebutuhan material beton dan pekerjaan bekisting menjadikan metode geomembrane paling efisien dari sisi biaya pelaksanaan, serta memberikan potensi penghematan yang signifikan dalam rehabilitasi saluran irigasi.

Evaluasi Alternatif dengan Metode Paired Comparison

Penentukan alternatif terbaik secara objektif, dilakukan evaluasi menggunakan metode Paired Comparison pada fase evaluasi dan pengembangan Value Engineering. Kriteria utama yang digunakan adalah efisiensi biaya, dengan mempertimbangkan kemudahan pelaksanaan dan keandalan teknis sebagai aspek pendukung.

Penilaian dilakukan dengan membandingkan alternatif secara berpasangan menggunakan skala 5, 3, dan 1, di mana nilai 5 menunjukkan biaya jauh lebih rendah, nilai 3 menunjukkan biaya lebih rendah, dan nilai 1 menunjukkan biaya sama atau lebih tinggi. Matriks perbandingan berpasangan disajikan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Matriks perbandingan berpasangan

Alternatif	U-Ditch	Pas. Batu	Beton Konv	Geomembrane
U-Ditch	–	5	1	1
Pasangan Batu	1	–	1	1
Beton Konvensional	5	5	–	1
Geomembrane	5	5	5	–

Hasil penjumlahan skor dari masing-masing alternatif ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Total skor

Alternatif	Skor
U-Ditch	7
Pasangan Batu	3
Beton Konvensional	11
Geomembrane	15

Geomembrane memperoleh skor tertinggi, menunjukkan bahwa alternatif ini paling unggul dari sisi efisiensi biaya dan kemudahan pelaksanaan. Beton konvensional berada pada peringkat kedua, sedangkan pasangan batu menunjukkan kinerja terendah karena biaya pelaksanaan yang tinggi dan durasi pekerjaan yang panjang

Rekomendasi Alternatif

Berdasarkan hasil analisis biaya dan evaluasi menggunakan metode Paired Comparison, metode saluran geomembrane direkomendasikan sebagai alternatif terbaik untuk menggantikan U-Ditch pada proyek rehabilitasi saluran irigasi tersier D.I Macan Subang. Keunggulan geomembrane terletak pada biaya pelaksanaan yang lebih rendah, kecepatan pemasangan, serta minimnya kebutuhan material struktural seperti beton dan tulangan.

Meskipun demikian, keberhasilan penerapan geomembrane sangat bergantung pada kontrol kualitas pemasangan, terutama pada sambungan las, perlindungan terhadap kerusakan fisik, serta kesiapan kondisi tanah dasar. Pada kondisi lokasi tertentu, seperti area dengan aktivitas alat berat tinggi, kemiringan terjal, atau keterbatasan tenaga terampil geomembrane, alternatif beton konvensional atau pasangan batu masih dapat dipertimbangkan sebagai solusi yang lebih sesuai.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa alternatif geomembrane HDPE merupakan solusi yang paling efisien dari sisi total biaya pelaksanaan dan skor Paired Comparison tertinggi, diikuti oleh beton konvensional ferosemen, sedangkan pasangan batu menempati peringkat terendah (Tabel 5–8). Temuan ini konsisten dengan kajian sebelumnya bahwa pemilihan material dan desain saluran irigasi berdampak signifikan terhadap biaya rehabilitasi dan durasi pelaksanaan pekerjaan infrastruktur irigasi [9]

Pertama, penggunaan lining saluran yang tepat dapat secara substansial mengurangi biaya total rehabilitasi. Studi di Uzbekistan menyatakan bahwa variasi material lining seperti geomembrane, beton, dan stone pitching memiliki dampak besar terhadap biaya rehabilitasi dan efisiensi kanal; khususnya geomembrane menonjol dari sisi biaya tahunan terendah apabila mempertimbangkan durasi masa pakai material tersebut [9]. Fenomena ini mendukung hasil penelitian bahwa geomembrane mampu menekan biaya struktural seperti pekerjaan bekisting, mortar, dan tulangan beton.

Kedua, konsep Value Engineering (VE) yang digunakan dalam penelitian ini terbukti relevan secara praktis untuk proyek infrastruktur hidrolik, termasuk irigasi. Pendekatan VE secara sistematis membantu mengidentifikasi komponen biaya yang tidak memberikan nilai fungsi optimal, sehingga alternatif desain bisa digeneralisasi untuk mencapai efisiensi biaya tanpa menurunkan kualitas struktur. Ini sejalan dengan temuan studi VE di proyek drainase irigasi lain yang menunjukkan potensi penghematan biaya dan optimasi material melalui evaluasi fungsi dan biaya secara sistematis [10]

Lebih jauh, dalam konteks manajemen air pertanian dan saluran irigasi, VE juga telah digunakan untuk mengevaluasi strategi efisiensi yang kompleks di sektor sumber daya air, termasuk strategi adaptasi terhadap perubahan iklim dengan teknik serupa yang bertujuan meminimalkan *lifecycle cost* sambil mempertahankan fungsi utama [11]. Hal ini memperkuat argumen bahwa pendekatan VE tidak hanya relevan untuk kasus bangunan dan drainase, tetapi juga untuk infrastruktur irigasi yang kompleks pada berbagai konteks geografik.

Ketiga, hasil perbandingan produktivitas dan biaya antara metode tradisional (pasangan batu) dan modern (geomembrane, ferosemen) mencerminkan perbedaan signifikan dalam **konstruktabilitas**. Metode manual menunjukkan produktivitas rendah dan biaya tenaga kerja tinggi, yang serupa dengan temuan di banyak studi evaluasi efisiensi saluran yang menunjukkan bahwa faktor pelaksanaan lapangan (seperti tenaga kerja, waktu pelaksanaan, dan kualitas pemasangan) merupakan determinan utama efisiensi biaya total [12]

Keempat, dari sisi teknis hidraulik, literatur menunjukkan bahwa kualitas lining dan kontrol rembesan sangat memengaruhi efisiensi jaringan irigasi secara umum karena rembesan air menyebabkan kehilangan efisiensi distribusi air. Studi efisiensi saluran menunjukkan bahwa saluran yang tidak memiliki lining yang efektif akan mengalami kehilangan air yang lebih besar, sehingga menurunkan nilai efisiensi secara keseluruhan [13]. Dengan menggunakan geomembrane, rembesan air bisa dikurangi sehingga sejalan dengan tujuan rehabilitasi saluran yang tidak hanya efisien biaya tetapi juga efisien fungsi hidrauliknya.

Kelima, pembobotan yang digunakan dalam metode *Paired Comparison* mengadopsi prinsip evaluasi objektif antar alternatif berdasarkan kriteria utama (*cost savings*) serta kemampuan pelaksanaan. Pendekatan ini telah diterapkan dalam berbagai penelitian VE yang menilai alternatif desain dan memberikan skor tanpa distorsi subjektivitas yang besar. Ini juga mendukung keputusan bahwa geomembrane layak dipilih berdasarkan total skor tertinggi, bukan semata total biaya, tetapi juga mempertimbangkan kemudahan pelaksanaan dan pengawasan [14]

Keenam, pembahasan biaya total dan rekomendasi alternatif juga sejalan dengan prinsip ekonomi proyek sumber daya air lain yang menunjukkan bahwa pengelolaan biaya struktur irigasi

merupakan bagian penting dalam kelayakan investasi infrastruktur air, dan setiap pengurangan biaya struktural harus dipertimbangkan terhadap manfaat jangka Panjang [15].

Ketujuh, penelitian lain mengenai efisiensi saluran irigasi menunjukkan bahwa efisiensi saluran sangat dipengaruhi oleh kondisi teknis saluran dan pendekatan pemeliharaan, yang menguatkan pendekatan VE sebagai instrumen untuk meningkatkan efisiensi keseluruhan dengan memperbaiki desain serta elemen teknis lain yang kurang optimal [16]

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperlihatkan bagaimana integrasi antara VE dan evaluasi biaya multi-alternatif (*Paired Comparison*) memberikan dasar kuat dalam memilih alternatif desain yang **lebih ekonomis, teknis layak, dan operasional realistis** untuk rehabilitasi saluran irigasi D.I Macan Subang. Belajar dari literatur lain yang memanfaatkan VE, cost–benefit analysis, maupun efisiensi lini saluran, pendekatan ini mampu memperkuat keputusan teknis dalam skala proyek irigasi [17].

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan Value Engineering efektif dalam mengoptimalkan biaya rehabilitasi saluran irigasi D.I Macan Subang tanpa mengurangi fungsi teknis saluran. Evaluasi dilakukan terhadap empat alternatif desain, yaitu U-Ditch (eksisting), pasangan batu, beton konvensional (ferosemen), dan geomembrane HDPE. Hasil analisis biaya menunjukkan bahwa geomembrane merupakan alternatif paling ekonomis dengan total biaya Rp562.075.772,46, menghasilkan penghematan sebesar Rp203.807.083,26 atau 26,61% dibandingkan metode U-Ditch. Beton konvensional berada pada posisi kedua dengan efisiensi biaya menengah, sedangkan pasangan batu memiliki biaya tertinggi akibat tingginya kebutuhan tenaga kerja dan durasi pelaksanaan. Analisis menggunakan metode Paired Comparison menegaskan hasil tersebut, di mana geomembrane memperoleh skor tertinggi (15), diikuti beton konvensional (11), U-Ditch (7), dan pasangan batu (3). Dari aspek teknis dan konstruktabilitas, geomembrane unggul dalam kecepatan pemasangan, fleksibilitas terhadap kondisi tanah, serta potensi biaya perawatan yang lebih rendah. Berdasarkan hasil tersebut, geomembrane direkomendasikan sebagai alternatif desain saluran irigasi tersier yang paling optimal dari sisi biaya dan pelaksanaan, dengan catatan pengawasan kualitas pemasangan harus dilakukan secara ketat

DAFTAR PUSTAKA

[1] M. G. I. Mardika, I. R. Fitriana, dan A. Priyono, “Evaluasi efisiensi rehabilitasi saluran irigasi pada Daerah Irigasi Batanghari Utara Kabupaten Lampung Timur,” *Journal of Engineering and Infrastructure Technology*, vol. 3, no. 2, pp. 49–58, 2024.

[2] B. Sutrisno dan M. Priyo, “Aplikasi value engineering dengan metode paired comparison pada struktur pelat beton,” *Semesta Teknika*, vol. 16, no. 2, pp. 172–178, 2013.

[3] A. K. Muhamaddan dan E. Ahyudanari, “Evaluation of value engineering potential in work methods and design of the primary canal in the post-disaster Gumbasa irrigation project, *Journal Research of Social Science, Economics, and Management*, vol. 5, no. 1, pp. 2683–2697, 2025.

[4] M. Sudiarsa, W. Sudiasa, dan K. Sutapa, “Value engineering approach for construction materials selection of irrigation drainage: Case study on project of DAS irrigation drainage improvement at Cengcengan River in Gianyar,” *International Journal of Physical Sciences and Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 35–46, 2018.

[5] N. J. Shanono, A. Lawan, dan N. M. Nasidi, "Value engineering-based framework for assessing the performance of irrigation scheme components," *Proceedings of the Nigerian Institution of Agricultural Engineers*, vol. 42, pp. 144–153, 2022.

[6] I. Iswati, W. Hartono, dan S. Sugiyarto, "Analisis value engineering dengan metode paired comparison pada proyek pembangunan gedung laboratorium komputer Kampus 3 Universitas Ahmad Dahlan Yogyakarta," *Matriks Teknik Sipil*, vol. 5, no. 1, 2017.

[7] W. Elnashar, H. F. Abd-Elhamid, M. Zeleňáková, dan A. Elyamany, "Value engineering approach to evaluate the agricultural drainage water management strategies," *Water*, vol. 15, no. 4, p. 831, 2023.

[8] B. Ramani dan J. Pitroda, "A critical literature review on application of value engineering in building construction project," *International Journal of Creative Research Thoughts*, vol. 5, no. 4, pp. 1461–1464, 2017.

[9] M. Zeleňáková, A. Arifjanov, H. F. Abd-Elhamid, M. B. Gergeľová, A. Fatxulloyev, dan D. Allayorov, "The effect of lining hydraulic properties on the efficiency and cost of irrigation canal reconstruction," *Water Resources Management*, pp. 1–17, 2025.

[10] H. R. B. Syifaa dan F. S. Cahyaningrum, *Penerapan Re-Engineering pada Proyek Jaringan Irigasi (Studi Kasus: Proyek Peningkatan Jaringan Irigasi Daerah Irigasi Cikeusik Kabupaten Cirebon)*, tesis, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, Indonesia, 2023.

[11] W. El-Nashar dan A. Elyamany, "Adapting irrigation strategies to mitigate climate change impacts: A value engineering approach," *Water Resources Management*, vol. 37, no. 6, pp. 2369–2386, 2023.

[12] M. P. Nanda, S. Riswanto, dan M. Kurniawati, "Metode paired comparison pada pekerjaan pondasi bangunan gedung dengan pendekatan studi value engineering (VE)," *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, pp. 449–456, 2023.

[13] S. Nurhadi dan D. W. A. Intansari, "Efisiensi pembagian air daerah irigasi Bendung Pekatingan di Kecamatan Butuh Kabupaten Purworejo," *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 1, no. 1, 2022, doi: 10.53863/teksling.v1i01.328.

[14] E. Patriangga dan M. Rofiq, *Value Engineering Proyek Pekerjaan Konstruksi Daerah Irigasi Jogan Kabupaten Pati Jawa Tengah*, tesis, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, Indonesia, 2023.

[15] Z. Zakia, M. Safriani, N. Radianica, dan M. F. Ikhwali, "Economic feasibility study on the development of irrigation channels," *International Journal of Engineering, Science and Information Technology*, vol. 2, no. 1, pp. 131–138, 2021.

[16] A. R. U. Darajat, F. Nurrochmad, dan R. Jayadi, "Analisis efisiensi saluran irigasi di Daerah Irigasi Boro Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah," *INERSIA: Informasi dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur*, vol. 13, no. 2, pp. 154–166, 2017.

[17] ZH. R. B. Syifaa dan F. S. Cahyaningrum, *Penerapan Re-Engineering pada Proyek Jaringan Irigasi (Studi Kasus: Proyek Peningkatan Jaringan Irigasi Daerah Irigasi Cikeusik Kabupaten Cirebon)*, tesis, Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, Indonesia, 2023.